

**Miguel Marques Pacheco de Faro Ferraz**

Licenciado



**Contribuição para o estudo do tratamento de  
efluentes de lagares de azeite**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia  
do Ambiente - Perfil de Engenharia Sanitária

Orientador:

Professor Doutor António Pedro de Macedo Coimbra Mano

Júri:

Presidente: Professora Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral

Vogal: Professor Doutor António Pedro de Macedo Coimbra Mano

Professora Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Outubro de 2012



“Copyright” Miguel Marques Pacheco de Faro Ferraz, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## AGRADECIMENTOS

---

Em primeiro lugar, gostaria de expressar o meu agradecimento ao Professor Doutor António Pedro de Macedo Coimbra Mano pela disponibilidade demonstrada e pelos conselhos que me deu durante a elaboração desta dissertação.

Ao Miguel Fernandes por me dar a conhecer a orgânica desta indústria e pela disponibilidade em me facultar os dados necessários para a elaboração desta dissertação.

Quero agradecer aos meus pais pelo apoio, motivação e carinho que sempre me deram para ultrapassar todas as etapas da minha vida académica.

À minha Lipa pela sua presença fundamental e pelo seu apoio e incentivo do primeiro ao último dia.

À malta fixe pela força que me deram.



## RESUMO

---

Os principais países produtores de azeite encontram-se na bacia do Mediterrâneo, caracterizada pelo clima propício ao cultivo da oliveira. Espanha, Itália, Grécia e Portugal são responsáveis por mais de 95% da produção mundial de azeite. A nível nacional, a região do Alentejo é a maior produtora de azeite, com 50,2% em 2010. O sector lagareiro localiza-se de forma dispersa com dominância dos lagares de pequena produção, o que resulta num maior número de fontes poluidoras.

Os subprodutos desta indústria são essencialmente o bagaço de azeitona e as águas ruças. A necessidade de uma gestão apropriada é fundamental uma vez que se dispostos directamente na natureza causam impactes extremamente negativos. O objectivo desta dissertação foi a análise dos diferentes processos de tratamento das águas ruças por forma a procurar estabelecer qual ou quais os melhores compromissos técnicos, económicos, ambientais e sociais.

Devido aos teores elevados de óleos e gorduras, da CQO, de sólidos totais e de polifenóis, as águas ruças, por forma a poderem ser enviadas quer para emissários quer, quer directamente para o meio receptor, carecem de tratamentos extremamente eficientes com custos de investimento e operação bastante significativos que podem inviabilizar os próprios lagares.

Deste modo, foi efectuada uma comparação entre as várias operações/ processos através de uma análise multicritério, o que permitiu eleger os processos de digestão anaeróbia, filtração por membranas e disposição das águas ruças em lagoas de evaporação ou em reservatórios de armazenamento como sendo as melhores alternativas de tratamento para este tipo de efluentes.

Para o estudo mais detalhado daqueles processos de tratamento foram considerados dois cenários - dois lagares, um de pequena produção (lagar A) e outro de grande produção (lagar B). O primeiro laborou em 2011 cerca de 2.287.913 kg de azeitona, e o segundo laborou, no mesmo ano, cerca de 25.000.000 kg de azeitona.

Relativamente à digestão anaeróbia, foi efectuada uma análise fundamentada no retorno financeiro associado à venda de energia eléctrica a partir da produção de biogás, tendo-se concluído que não se pode considerar uma opção de tratamento viável, especialmente quando aplicada a lagares de pequena produção. Em relação à operação de filtração por membranas, esta é uma solução que requer custos de investimento, operação e manutenção que grande parte dos produtores de azeite não tem possibilidades de comportar. A possível venda de fracções valorizáveis do concentrado obtido foi considerada e ponderada. No entanto, o risco de se optar por esta tecnologia e os prejuízos serem muito significativos, foi considerado bastante elevado, pelo que não se pode considerar igualmente como uma alternativa viável.

O recurso a lagoas de evaporação ou a reservatórios de armazenamento para posterior rega dos solos agrícolas entre campanhas, soluções geralmente adoptadas pelos produtores de azeite, parecem constituir de facto, a solução mais indicada para o sector. A sua implementação é relativamente simples, a gestão e os custos de operação e manutenção são praticamente inexistentes, sendo necessária apenas uma neutralização do efluente no caso de ter como fim a rega dos terrenos agrícolas. Há igualmente de possibilidade da venda do resíduo sólido seco como fertilizante e no caso de água ruça ser utilizada na rega, há uma poupança assegurada de água abastecida, bem como de fertilizantes.

**Palavras-chave:** águas ruças, biodegradabilidade, tratamento





## ABSTRACT

---

The major olive oil producing countries are in the Mediterranean basin, characterized by its proper climate to the cultivation of the olive tree. Spain, Italy, Greece and Portugal are responsible for over 95% of world's olive oil production. Nationally, the Alentejo region is the largest olive oil producer, with 50.2% in 2010. The olive oil production sector is located in a dispersed way with dominance of small-production olive mills, which results in a larger number of polluting sources.

The by-products of this industry are essentially the pomace and the olive mill. The need for proper management is crucial since its direct disposal in nature cause extremely negative impacts. The aim of this thesis was to analyse the different processes of olive oil wastewater treatment order to try to establish which are the top technical, economic, environmental and social commitments.

Due to the high contents of fats and oils, COD, total solids and polyphenols, olive mill wastewaters, so that they can be sent either to outfalls, either directly to the receiving medium, require extremely efficient treatments with highly investment and operation costs that can derail the olive mills.

Thus, a comparison was made between the various operations/processes by a multicriteria analysis, which allowed elect anaerobic digestion processes, membrane filtration and disposal of olive mill wastewaters in evaporation ponds or storage reservoirs as the best treatment alternatives for this type of wastewaters.

For more detailed study of those treatment processes, two scenarios were considered – two olive mills, a small production one (mill A) and other major production one (mill B). The first milled in 2011 about 2,287,913 kg of olives, and the second milled in the same year, about 25 million kg of olives.

For the anaerobic digestion, was made an analysis based on financial return associated with the sale of electricity from biogas production and it was found that it can't be considered a viable treatment option, especially when applied to small-production olive mills. Regarding to the operation of membrane filtration, this is a solution that requires investment costs, operation and maintenance that most olive oil producers is unable to have. The possible sale of recoverable concentrate fractions obtained was considered. However, the risk of opting for this technology and the risks being very significant was considered quite high and therefore it can't be considered also as an available alternative.

The use of evaporation ponds or storage reservoirs for subsequent irrigation of agricultural land between campaigns, solutions generally adopted by olive oil producers seem to be in fact, the most suitable solution for the sector. Its implementation is relatively simple, the management and operation and maintenance costs are virtually nonexistent, requiring only a neutralization of the wastewater in case the aim is the irrigation of agricultural land. There is also the possibility of selling the dried solid residue as a fertilizer and in the case of olive mill wastewaters are to be used in irrigation, there is a provided savings of water supplied, as well as fertilizers.

**Palavras-chave:** olive mill wastewaters, biodegradability, treatment



# ÍNDICE

---

1.	NOTA INTRODUTÓRIA .....	17
2.	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	19
3.	CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA .....	21
4.	OLIVICULTURA .....	23
4.1.	Características da azeitona .....	23
4.2.	Modalidade de cultivo .....	24
3.2.1.	Olival tradicional .....	24
3.2.2.	Olival intensivo e super-intensivo .....	24
3.3.	Pragas e doenças .....	25
3.4.	Colheita da azeitona .....	26
3.5.	Consumos de água .....	26
5.	PROCESSO DE EXTRACÇÃO .....	29
5.1.	Recepção e armazenamento .....	29
5.2.	Limpeza .....	29
5.3.	Moenda .....	30
5.3.1.	Moinho de galgas .....	31
5.3.2.	Moinho metálico .....	32
5.4.	Malaxagem .....	34
5.4.1.	Parâmetros de controlo .....	35
5.5.	Separação de fases .....	36
5.5.1.	Prensagem .....	37
5.5.2.	Centrifugação horizontal .....	38
6.	DIAGNÓSTICO SECTORIAL .....	45
6.1.	Caracterização mundial .....	45
6.2.	Caracterização a nível nacional .....	49
6.3.	Análise do sector em Portugal .....	57

7.	IMPACTE DA ÁGUA RUÇA NOS RECURSOS HÍDRICOS .....	61
8.	QUADRO LEGISLATIVO.....	63
8.1.	Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-Pecuários e Agro-Industriais.....	63
8.2.	Despacho Conjunto n.º 626/2000, de 6 de Junho.....	64
8.3.	Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de Outubro.....	64
8.4.	Regulamentos de Descarga de Águas Residuais Industriais na Rede Pública de Drenagem.....	65
8.5.	Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto.....	66
8.6.	Legislação aplicada à valorização energética do biogás.....	67
9.	CARACTERIZAÇÃO DOS SUBPRODUTOS .....	69
9.1.	Águas ruças .....	70
9.2.	Bagaço de azeitona .....	74
10.	TRATAMENTO E VALORIZAÇÃO DAS ÁGUAS RUÇAS .....	79
10.1.	Processos físicos .....	79
10.1.1.	Sedimentação gravítica.....	79
10.1.2.	Centrifugação.....	80
10.1.3.	Flotação .....	80
10.1.4.	Filtração por membranas.....	81
10.2.	Processos físico-químicos .....	83
10.2.1.	Neutralização .....	83
10.2.2.	Coagulação/floculação.....	84
10.2.3.	Adsorção .....	86
10.2.4.	Oxidação química.....	87
10.2.5.	Oxidação electroquímica .....	90
10.2.6.	Permuta iónica.....	90
10.3.	Processos biológicos .....	91
10.3.1.	Oxidação biológica aeróbia.....	91
10.3.2.	Oxidação biológica anaeróbia.....	96
10.4.	Processos térmicos .....	102

10.4.1.	Lagoas de evaporação natural.....	102
10.4.2.	Evaporação forçada .....	104
10.5.	Valorização da água ruça como fertilizante de solos .....	104
10.6.	Recuperação de compostos fenólicos .....	107
11.	OPÇÕES DE TRATAMENTO.....	109
12.	CASO DE ESTUDO.....	113
12.1.	Tratamento por digestão anaeróbia.....	118
12.1.1.	Considerações acerca da viabilidade da digestão anaeróbia .....	121
12.2.	Tratamento por filtração por membranas.....	122
13.	CONCLUSÕES .....	125
	BIBLIOGRAFIA .....	127



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 2.1: Esquema e descrição da estrutura da dissertação .....	19
Figura 5.1: Moinho metálico de martelos (lagar A).....	33
Figura 5.2: Câmara de malaxagem (lagar A).....	35
Figura 5.3: Diagrama do processo com sistema de extracção tradicional .....	38
Figura 5.4: Diagrama do processo com sistema de extracção contínuo de duas e três fases ....	39
Figura 5.5 <i>Decanter</i> de três fases (lagar A).....	40
Figura 5.6: Centrífuga vertical (lagar A).....	43
Figura 6.1: Regiões do mundo com Clima Mediterrânico (Csa) segundo a Classificação de Köppen-Geiger .....	45
Figura 6.2: Regiões de Portugal Continental com Clima Mediterrânico (Csa e Csb).....	46
Figura 6.3: Principais produtores mundiais de azeite e respectiva quantidade produzida na campanha 2010/2011.....	46
Figura 6.4: Principais consumidores mundiais de azeite e respectiva quantidade consumida referente à campanha 2010/2011 .....	47
Figura 6.5: Principais exportadores mundiais de azeite e respectiva quantidade exportada referente à campanha 2010/2011 .....	48
Figura 6.6: Principais importadores mundiais de azeite e respectiva quantidade importada referente à campanha 2010/2011 .....	49
Figura 6.7: Evolução da área de olival para azeite por Região Agrícola (1995 - 2010).....	50
Figura 6.8: Evolução da produção de azeitona por Região Agrícola (1995 - 2010).....	51
Figura 6.9: Quantidade de azeitona laborada em toneladas por Concelho (campanha 2004/05)	52
Figura 6.10: Evolução da quantidade de azeitona oleificada em Portugal Continental (1995 - 2010) .....	52
Figura 6.11: Evolução da quantidade de azeite produzido por Região Agrícola (1995 - 2010) ..	53
Figura 6.12: Evolução do número de lagares do tipo particular, cooperativo e industrial ao longo do tempo (1995 - 2010).....	54
Figura 6.13: Evolução do número de lagares em exploração por sistema de extracção ao longo do tempo (1995 - 2010).....	55
Figura 6.14: Núcleos de Acção Prioritária para o sector lagareiro .....	56
Figura 6.15: Percentagem de Margem Bruta Standard por concelho em 2007.....	59
Figura 10.1: Lagoa de evaporação (lagar A) .....	103

Figura 10.2: Composição percentual de uma amostra de água ruça após vários meses de armazenamento numa lagoa de evaporação.....	103
Figura 12.1: Tanque para aproveitamento de gorduras (lagar A).....	114
Figura 12.2: Pontuação obtida após a avaliação multicritério pela digestão anaeróbia .....	116
Figura 12.3: Pontuação obtida após a avaliação multicritério para a filtração por membranas	116
Figura 12.4: Pontuação obtida após a avaliação multicritério para a lagoa de evaporação.....	117



## ÍNDICE DE TABELAS

---

Tabela 4.1: Descrição taxonómica da <i>Olea europea</i> L.....	23
Tabela 5.1: Influência do tempo de malaxagem nos subprodutos da laboração da azeitona.....	35
Tabela 5.2: Valores médios de taxas de extracção e algumas características qualitativas de subprodutos obtidos por <i>decanter</i> s de duas e três fases.....	42
Tabela 6.1: Número de lagares e superfície média por lagar, por Região Agrícola .....	50
Tabela 6.2: Número de lagares em exploração por Região Agrária (1995 e 2010).....	55
Tabela 8.1: Valores Limite de Descarga (VLD) presentes no Regulamento Municipal de Descargas de Águas Residuais Industriais do Município de Santarém.....	66
Tabela 8.2: Valores limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais presentes no Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto .....	67
Tabela 9.1: Terminologia empregue em vários países para designar resíduos produzidos nos lagares .....	69
Tabela 9.2: Principais <i>inputs</i> e <i>outputs</i> da linha de produção nos diferentes processos de extracção de azeite .....	70
Tabela 9.3: Composição orgânica característica das águas ruças segundo vários autores.....	72
Tabela 9.4: Composição inorgânica das águas ruças segundo vários autores. ....	72
Tabela 9.5: Valores médios de parâmetros físicos, químicos e biológicos de várias amostras de água ruça de um lagar localizado no Nordeste de Portugal .....	74
Tabela 9.6: Composição média do bagaço de azeitona por método de extracção e do bagaço extractado.....	75
Tabela 9.7: Composição média do bagaço de duas fases.....	76
Tabela 10.1: Características gerais dos processos de filtração por membranas.....	81
Tabela 10.2: Características da amostra de água ruça .....	82
Tabela 10.3: Eficiência de remoção de certos compostos presentes na amostra de água ruça.....	84
Tabela 10.4: Características da amostra de água ruça bruta e do efluente após passagem por um leito percolador.....	93
Tabela 11.1: Principais características dos processos físicos, físico-químicos, biológicos e térmicos elegíveis para o tratamento de águas ruças.....	110
Tabela 12.1: Quantidades de azeitona laborada, azeite e bagaço produzidas em 2010 e 2011 pelo lagar A.....	113
Tabela 12.2: Preços de venda de azeite e bagaço pelo lagar A.....	113

Tabela 12.3: Avaliação multicritério das melhores opções de tratamento identificadas (digestão anaeróbia, filtração por membranas e lagoa de evaporação) .....	115
Tabela 12.4: Resultados obtidos da simulação da aplicabilidade da digestão anaeróbia como tratamento das águas ruças do lagar A e lagar B .....	120
Tabela 12.5: Características associadas à aplicabilidade do sistema de filtração por membranas	122
Tabela 12.6: Características dos sistemas de filtração por membranas aplicáveis ao lagar A e lagar B .....	123

# 1. NOTA INTRODUTÓRIA

---

Com o aumento da população mundial, a água disponível para consumo é cada vez menor podendo por em causa a sobrevivência do ser humano em certas regiões do planeta. A descarga de águas residuais nos recursos hídricos sem qualquer tratamento, nomeadamente as provenientes dos lagares de azeite, pode contribuir para limitar a disponibilidade daquele recurso.

Segundo Kapellakis, et al. (2004), as principais causas da degradação do ambiente decorrentes da actividade do sector da produção de azeite incluem:

- A industrialização da agricultura, o que resultou num aumento da produção de azeite a nível mundial;
- A conversão do sistema de extracção tradicional por prensas (que resulta na produção de 3,25 m<sup>3</sup> de água ruça por tonelada de azeite produzido) num sistema de extracção por centrífuga (que resulta na produção de 5m<sup>3</sup> de água ruça por tonelada de azeite produzido);
- A localização dispersa de um grande número de lagares de baixa produção, o que resulta num maior número de fontes poluidoras;
- A exclusão dos donos dos lagares nos processos de decisão.

As águas ruças constituem um grande problema ambiental para os principais países produtores, que se localizam na orla Mediterrânica, em consequência da inexistência ou ineficácia do seu tratamento. Naqueles países, a produção de águas ruças é efectuada a uma grande escala (Hamdi 1993), estimando-se uma produção anual em cerca de 30 milhões m<sup>3</sup> concentrada num período de tempo relativamente curto.

As águas ruças são resistentes à degradação biológica devido à presença de sólidos voláteis, matéria inorgânica e, também à presença de elevada concentração de compostos fenólicos. Devido a estas características, que são responsáveis por concentrações elevadas da carência química de oxigénio (CQO) e de carência bioquímica de oxigénio (CBO).

Consequentemente tem-se procurado levar a cabo acções de reestruturação das unidades de extracção do azeite, por forma a implementar sistemas de extracção que conduzam a um menor consumo de água e a uma redução de águas ruças, nomeadamente em Portugal.

No entanto, o número ainda bastante elevado de lagares de pequena produção dispersos pelo território nacional, faz com que o controlo de descargas ilegais nos meios hídricos naturais ou nos

colectores municipais constitua uma tarefa difícil de ser devidamente cumprida. Os efluentes desta indústria podem, no entanto, ser valorizados. A sua consideração enquanto subprodutos e a análise das mais-valias que lhes estão associadas é relevante no sentido de incentivar o produtor de azeite a investir no seu tratamento, protegendo desta forma o meio ambiente.

Esta dissertação teve como objectivo caracterizar o sector da produção de azeite e os respectivos subprodutos, bem como analisar os diferentes processos de tratamento das águas ruças por forma a procurar estabelecer soluções de compromisso através da análise de critérios técnicos, económicos e ambientais.

## 2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se organizada em treze capítulos principais, que se resumem na figura seguinte.

<b>CAPÍTULO 1</b> Nota Introdutória	Enquadramento do tema e problemática associada
<b>CAPÍTULO 2</b> Estrutura da Dissertação	Esquema e descrição da estrutura da dissertação
<b>CAPÍTULO 3</b> Contextualização Histórica	Breve descrição cronológica da produção e expansão da azeitona e do azeite pelo mundo
<b>CAPÍTULO 4</b> Olivicultura	Descrição dos vários modos de cultivo da oliveira bem como as pragas e doenças associadas
<b>CAPÍTULO 5</b> Processo de Extracção	Introdução à problemática das águas ruças descrevendo-se com descrição da linha de produção de azeite e as diferentes etapas onde estas são produzidas
<b>CAPÍTULO 6</b> Diagnóstico Sectorial	Diagnóstico sectorial mais geral a nível mundial e de forma mais detalhada a nível nacional, por forma a caracterizar a dimensão do sector da produção de azeite
<b>CAPÍTULO 7</b> Impacte das Águas Ruças no Meio Hídrico	Impactes da descarga de água ruça bruta nos ecossistemas aquáticos
<b>CAPÍTULO 8</b> Quadro Legislativo	Principais medidas legislativas aplicadas à descarga das águas ruças bem como as aplicadas à valorização energética do biogás
<b>CAPÍTULO 9</b> Caracterização dos Subprodutos	Caracterização física, química e biológica das águas ruças e do bagaço de azeitona
<b>CAPÍTULO 10</b> Tratamento e Valorização das Águas Ruças	Descrição dos tratamentos possíveis de serem aplicados
<b>CAPÍTULO 11</b> Opções de Tratamento	Comparação e definição das opções consideradas viáveis
<b>CAPÍTULO 12</b> Caso de estudo	Aplicabilidade das soluções que foram consideradas viáveis a dois cenários possíveis
<b>CAPÍTULO 13</b> Conclusões	Quais as melhores opções de tratamento para as águas ruças tendo em conta aspectos técnicos, económicos, ambientais e sociais

Figura 2.1: Esquema e descrição da estrutura da dissertação



### 3. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

---

As lendas referentes ao papel da oliveira são inúmeras, grande parte dadas com referência à mitologia grega. Uma versão do mito de Apolo e Ártemis, filhos gémeos de Zeus e Leto, diz que os dois nasceram sob uma oliveira. Na Odisseia de Homero, conta-se que Penélope reconheceu o marido Ulisses, após vinte anos de ausência, pela descrição que ele fez um de arco nupcial que fabricara a partir do tronco de uma oliveira, simbolizando a fecundidade. As grandes riquezas de Israel são descritas com frequência na Bíblia como “trigo, vinho e azeite”, que representavam a base da dieta e o esteio da economia, havendo igualmente evidências de exportação de azeite de Cannã para o Egito e para a Grécia com mais de quatro mil anos. Escavações arqueológicas descobriram, em Jericó, ânforas para armazenar azeite com cerca de seis mil anos, e em Israel as mais antigas prensas para a extracção de azeite. No Antigo Testamento está descrito que na história de Noé, este libertou uma pomba, a qual no regresso trazia um ramo de oliveira, sinal da vazão e símbolo da paz entre Deus e o Homem (Kapellakis, Tsagarakis e Crowther, Olive oil history, production and by-product management 2008).

Do hebraico *zayit*, semelhante ao aramaico *zaita* e ao árabe *zeituna*, veio a tradução portuguesa azeitona. O azeite, termo oriundo do árabe *az-zait*, que significa sumo de azeitona, era utilizado não só para enriquecer os alimentos, mas também na iluminação, na medicina tradicional, em diversas técnicas de massagem e como líquido sagrado. Desde o nascimento que o homem ficava ligado ao azeite, pois este servia para limpar os recém-nascidos, era utilizado na cerimónia do baptismo para que a unção servisse de luz para a vida inteira e, na morte, o azeite deitado sobre a cara era símbolo de luz e de pureza (Saramago 2001).

A verdadeira origem genética da azeitona que é cultivada hoje em dia, *Olea Europaea*, ainda não foi desvendada (Vossen 2007). No entanto, a *Olea Europaea L.*, tem a sua origem há cerca de 5000 anos na região correspondente à Pérsia e Mesopotâmia (Kiritsakis 1998).

Segundo Saldanha (2003), a oliveira surge por expansão do zambujeiro, que se dá por toda a região mediterrânica ao longo dos milénios que se seguem à mudança do clima mundial que corresponde à transição do Terciário para o Quaternário (à cerca de 1800 milhões anos atrás). Esta espécie adaptou-se para resistir à secura, a partir de uma vegetação preexistente que cobria inteiramente a bacia do Mediterrâneo, numa época em que esta zona do planeta possuía um clima mais quente e muito mais húmido que no presente. Em Portugal pelo facto de existirem regiões com condições edafo-climáticas propícias ao cultivo da oliveira, a produção de azeite é, em termos históricos, muito antiga. De facto, remonta à Idade do Bronze, apesar de terem sido os Romanos, os Visigodos e os

### 3 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

Árabes os responsáveis pelo seu desenvolvimento na Península Ibérica, e de haver traços da sua presença desde o comércio com os Fenícios. Tomar, sede da Ordem dos Templários, viu regulamentada a exploração oleícola desde 1162, por autoridade do mestre Gualdim Pais. Em Coimbra e Santarém, no século XII, a cultura da oliveira, a extracção do azeite e o seu comércio já eram praticados em escala apreciável. Foi em Évora no ano de 1392 que se lavrou a primeira regulamentação do ofício de lagareiro, mas só em Coimbra no ano de 1515 e em Lisboa no ano de 1572 é que foi seguido o exemplo (Saramago 2001).

A expansão da produção de azeite atingiu o seu auge no século XVIII muito devido ao crescimento da população das cidades. Entre os finais do séc. XIX e meados do séc. XX, registou-se uma queda na procura e consequentemente na produção de azeite devido ao desenvolvimento de técnicas muito pouco dispendiosas de extracção de outro tipo de óleos usados para iluminação de casas e ruas. A crescente pobreza em Espanha, sul de Itália e Grécia tornou o azeite num bem caro e inacessível para muitos. Por forma a contrariar a situação, muitos produtores de azeite diminuíram a qualidade do seu azeite com o intuito de baixarem os preços, por forma a aumentar a procura (Vossen 2007).

Mais recentemente, com a expansão e modernização desta indústria, a competitividade no mercado oleícola levou a um aumento na qualidade do produto e consequentemente a uma procura cada vez maior. Países meridionais da União Europeia - Portugal, Espanha, Itália e Grécia - são os principais produtores e consumidores mundiais de azeite, avaliando-se as respectivas evoluções ao longo do tempo, bem como as importações e exportações, no Capítulo 6. Devido às suas características ímpares que se adaptam a gostos diversos e a utilizações variadas, as exportações têm-se alargado a países que tradicionalmente não eram mercados com expressão, como os E.U.A., Brasil, Canadá ou Japão. O referido capítulo trata da caracterização do sector a nível mundial e mais pormenorizadamente a nível nacional.



## 4. OLIVICULTURA

### 4.1. Características da azeitona

O azeite é o óleo extraído do fruto da oliveira *Olea europaea* L., cuja taxonomia e características se apresentam na Tabela 4.1, sendo a única espécie da família *Oleaceae* com fruto comestível, a azeitona.

**Tabela 4.1: Descrição taxonômica da *Olea europaea* L..**

Taxonomia	
Divisão	Spermatophyta
Subdivisão	Magnoliophytina (Angiospermae)
Classe	Magnoliopsida (Dicotyledoneae)
Subclasse	Lamiidae
Ordem	Oleales
Família	Oleaceae
Subfamília	Oleoideae
Tribo	Oleae
Gênero	<i>Olea</i>
Espécie	<i>Olea europaea</i> L.
Descrição botânica	
Planta	Árvores baixas de tronco retorcido de longa longevidade
Tipo fisionômico	Mesofanerófito
Folhas	Folhas simples verde-acinzentadas, mais claras na página inferior
Flores	Flores radiadas e tretâmeras, estames em número de dois, ovário súpero bicarpelar e sincárpico
Fruto	Drupas com pericarpo rico em lípidos
Localização	
Distribuição	Região mediterrânica
Habitat	Matos, matagais, terrenos incultos e rupícola

Adaptado de Rodrigues, et al. (2009)

## **4.2. Modalidade de cultivo**

As modalidades de cultivo intensivo e super-intensivo distinguem-se da tradicional principalmente pelo número de árvores por hectare e o seu porte.

### **3.2.1. Olival tradicional**

O olival tradicional tem geralmente compassos de 6 x 6 metros até 12 x 12 metros, contando com 70 a 270 árvores por hectare e tem a capacidade de explorar oliveiras de grande porte. Estas oliveiras apresentam maior longevidade (na ordem da centena de anos), mas têm uma produção por campanha consideravelmente mais reduzida, comparativamente aos modos intensivo e super-intensivo (Rodrigues e Correia 2009).

### **3.2.2. Olival intensivo e super-intensivo**

Este modo de cultivo apresenta em comparação ao anterior, oliveiras de menor porte. Um olival intensivo pode conter 300 a 400 árvores por hectare num compasso de 3,5 x 3,5 metros, com uma longevidade de poucas dezenas de anos. Já em modo super-intensivo, o olival pode conter com 1.000 a 2.000 árvores por hectare caracterizado pela reduzida longevidade das oliveiras, capazes de produzir no máximo entre 10 a 20 anos. As vantagens destas modalidades prendem-se sobretudo com a rentabilização da área explorada permitindo produções muito superiores por hectare, com a entrada em produção mais precoce, estendendo o período da campanha, e com a mecanização das operações de colheita e manutenção. A alteração das práticas tradicionais ocorrida nos últimos anos, motivada pela intensificação da olivicultura, tem vindo a favorecer o aparecimento de pragas e doenças cujo controlo é essencial para manutenção da rentabilidade. Na olivicultura actual manter uma boa protecção fitossanitária do olival é essencial para garantir uma produção regular e um produto de qualidade, com mais-valias directas para o produtor (Rodrigues e Correia 2009, Almeida 2008).

### 3.3. Pragas e doenças

Segundo Rodrigues, et al. (2009), as principais pragas que incidem na oliveira incluem:

- **Traça da Oliveira** (*Prays oleae*) - A geração carpófaga provoca a queda dos frutos em Junho/Julho quando as larvas penetram nos frutos;
- **Mosca da Azeitona** (*Bactrocera oleae*) – É considerada a praga mais importante do olival, encontrando-se perfeitamente distribuída por toda a Bacia Mediterrânica. Caso a azeitona seja destinada à conserva, uma simples picada retira-lhe todo o seu valor comercial. Se for para extracção de azeite, os prejuízos ocorrem pela queda prematura da azeitona, pelo consumo da polpa efectuado pelas larvas com a consequente perda de qualidade do azeite;
- **Cochonilha Negra** (*Saissetia oleae*) - O facto de segregar substâncias açucaradas que ficam impregnadas nas folhas e ramos da oliveira, servem de alimento a um fungo conhecido por fumagina. Este fungo dá à árvore um aspecto enegrecido ao cobrir ramos, folhas e frutos, pondo em causa a fotossíntese, a respiração e a transpiração através das folhas (Coutinho 2011).

As principais doenças contraídas pela oliveira são:

- **Gafa** (*Colletotrichum acutatum* e *C. gloesporioides*) - Causada por um fungo que ataca frutos e folhas. Provoca um decréscimo considerável da qualidade do fruto sendo especialmente favorecido pela humidade. Verifica-se a podridão e mumificação da azeitona, aparecendo manchas arredondadas e acastanhadas e verificando-se uma depressão da polpa;
- **Olho de Pavão** (*Spilocaea oleagina*) - Igualmente causada por um fungo em condições de calor e humidade, leva ao enfraquecimento das árvores e à consequente diminuição da produtividade. O sintoma mais característico é a presença de manchas circulares de tamanho variável e cor castanho-escuro a negro nas folhas;
- **Tuberculose da Oliveira** (*Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi*) - é motivada pela acção de uma bactéria que se aloja no lenho, provocando uma debilitação progressiva da árvore através da propagação de verrugas pelos ramos e tronco. O Homem contribui activamente para a propagação da doença, sobretudo quando efectua a poda e passa de umas árvores para as outras sem desinfectar o equipamento.

### 3.4. Colheita da azeitona

O conteúdo total em gordura aumenta com a maturação da azeitona, atingindo o valor máximo quando se encontram bem maduras. Contudo, a qualidade do azeite de acordo com os melhores padrões obtém-se antes da maturação completa dos frutos, quando parte deles ainda não está completamente maduro (Rodrigues e Correia 2009).

O método tradicional de colheita da azeitona para azeite é a vareja, ainda praticado em pequenas explorações que fazem a apanha recorrendo maioritariamente a mão-de-obra familiar. São usadas varas e vareiros para provocar a queda dos frutos, que são então recuperados do chão em lonas ou panais previamente estendidos (Rodrigues e Correia 2009).

Actualmente, a colheita mecanizada é recurso para a maior parte dos produtores de azeitona. Os principais equipamentos disponíveis para a colheita mecanizada da azeitona baseiam-se na vibração do tronco ou pernas, propagando-se a vibração a toda a planta, o que origina o derrube dos frutos. Os equipamentos mais eficazes, os vibradores multidireccionais, podem, em condições óptimas de trabalho, atingir eficácias no derrube acima dos 90% (Rodrigues e Correia 2009).

### 3.5. Consumos de água

O consumo de água em excesso ou a sua aplicação de forma ineficiente ou insensata torna este tema um assunto muito pertinente nos dias de hoje. De acordo com Sá Marques, et al. (2011) não existe uma falta de água, como muitas vezes é afirmado, mas sim uma crise na gestão da mesma. É necessário fazer a sua correcta gestão através da implementação de medidas com o objectivo de racionalizar os respectivos consumos.

Os consumos de água na agricultura variam muito em consequência quer das condições climáticas quer do grau de desenvolvimento da região. A procura de água em Portugal foi estimada em 2002 em cerca de 7.500 milhões m<sup>3</sup> e em 2010 em cerca de 4.199 milhões m<sup>3</sup>, no conjunto dos sectores agrícola, industrial e urbano. Neste último ano as percentagens de procura de água foram de 8%, 5% e 87% para os sectores urbano, industrial e agrícola, respectivamente (MAMAOT 2012).

A redução de consumo mais significativa verificou-se no sector agrícola, o maior consumidor de água. Esta redução deveu-se a uma conjugação de factores relacionados, por um lado com a conjuntura nacional, que conduziu a uma redução das áreas regadas no primeiro decénio do século, sobretudo no norte e centro do país e, por outro lado, ao aumento da eficiência do uso da água, tanto na componente relativa às perdas associadas ao sistema de armazenamento, transporte e distribuição como na componente relativa à aplicação da água de rega nas parcelas.

As práticas de rega constituem cada vez mais uma preocupação, principalmente em regiões de clima seco ou pouco desenvolvidas. Em Portugal, a ineficiência no uso da água no sector agrícola foi estimada em cerca de 40% da procura total em 2002 e 37,5% em 2010. (MAMAOT 2012).

O consumo médio da água de rega é de cerca de 6.733 m<sup>3</sup>/ha em culturas irrigadas. No entanto, o olival de irrigação apresenta a menor exigência hídrica entre as culturas analisadas, recebendo a menor dotação unitária (2.259 m<sup>3</sup>/ha) (INE\*\* 2011).

.

## 5. PROCESSO DE EXTRACÇÃO

---

### 5.1. Recepção e armazenamento

O transporte da azeitona do campo para o lagar deve ser efectuado em caixas plásticas perfuradas por forma a permitir um bom arejamento, e a laboração deverá ser efectuada nas 24 a 48h após a colheita. A admissão da azeitona faz-se no chamado pátio de recepção e é descarregada para um ou mais tegões, consoante o volume de azeitona descarregada. É neste espaço que é efectuada uma separação criteriosa da azeitona, por variedade e qualidade. É então feita a limpeza e lavagem da mesma, bem como a sua pesagem, sendo transportada para os tegões de armazenamento para posterior laboração. A separação, limpeza e lavagem e a preocupação de encurtar o mais possível o espaço de tempo de espera, torna a fase de recepção da azeitona numa das operações mais importantes do que respeita à gestão do processo produtivo.

O mau acondicionamento da azeitona recebida poderá levar a uma deterioração desta com impacte negativo na qualidade do azeite. A possível ruptura do epicarpo das azeitonas, sob certas condições de temperatura e humidade contribuem para a colonização e proliferação de certos microrganismos. O desenvolvimento preferencial de leveduras dá origem à formação de etanol e acetato de etilo, contribuindo para o denominado atributo avinhado no azeite. Já a possível presença de acetobacterias que promovem a produção de ácido acético poderá ser responsável pelo atributo avinagrado (Angerosa, Lanza e Marsilio, Biogenesis of “fusty” defect in virgin olive oils 1996). Quando aumenta o tempo de armazenamento, criam-se condições de temperatura e humidade que proporcionam o desenvolvimento de fungos e a consequente decomposição do fruto (Angerosa, Lanza, et al., Olive oil off-odour compounds produced by *Aspergillus* and *Penicillium* 1999).

O principal objectivo nesta etapa é que a laboração da azeitona seja efectuada no mais curto espaço de tempo possível após a colheita, de modo a evitar alterações químicas, físicas e biológicas, com repercussões nas características organolépticas do produto final, o azeite.

### 5.2. Limpeza

Na carga de azeitona recebida pelo lagar há sempre a presença de ramos e folhas provenientes da poda. A sua remoção é essencial, sendo a desfolhagem a primeira etapa no processo de produção de azeite. A presença de vegetação misturada com a azeitona teria como efeito acentuar, no azeite, o cheiro e sabor característicos desta, pelo que se procede então à sua remoção. Os ramos e galhos não têm qualquer valor comercial podendo ser incorporados na ração animal.

Na operação de lavagem são consumidos cerca de 10 a 12 L/100 kg de azeitona (CAR/PP 2000) , e tem como objectivo a remoção de terra, areia, gravilha e outros materiais que possam vir com a azeitona. Caso contrário pode ocorrer sabões alcalino-terrosos que provocam turvação no azeite bem como a presença de minerais siliciosos abrasivos para os componentes metálicos dos equipamentos de transformação da azeitona e extracção de azeite (Carvalho 1987). A lavagem permite evitar os referidos riscos e representa uma operação de higienização ao permitir a preservação das características naturais e nutricionais do azeite.

Por forma a reduzir os custos de exploração, muitas vezes é efectuada a reciclagem da água de lavagem sendo reintroduzida no processo após uma sedimentação ou filtração de sólidos. Reduz-se assim o consumo de água bem como o caudal de água ruça produzido.

Após este primeiro passo no processo produtivo, a azeitona é transportada para o moinho por tapete rolante ou parafuso sem fim para ser transformada em pasta.

### 5.3. Moenda

A moenda é a etapa onde é preparada a pasta de azeitona que posteriormente é laborada de forma a extrair o azeite, sendo composta pelo caroço, ou endocarpo, e polpa, ou mesocarpo, triturados. O caroço representa cerca de 20 a 30% do peso da azeitona e contem por volta de 1% de azeite. A maior parte do óleo está contida na polpa a qual representa 75% do peso da azeitona e 50% do óleo (Kailis e Harris 2007).

O azeite, até agora protegido em células do mesocarpo e em tecidos do citoplasma, entra em contacto directo com os outros constituintes da azeitona inclusivamente com várias enzimas, levando a possíveis transformações bioquímicas. O azeite ao ser libertado faz com que haja uma série de reacções enzimáticas, catalisadoras da adição de oxigénio molecular aos ácidos gordos polinsaturados, contribuindo para a formação de vários compostos voláteis (Angerosa, d'Alessandro, et al. 1998).

Os moinhos utilizados são habitualmente ou metálicos ou de pedras, tendo alguns estudos apontado para diferenças na composição dos azeites, e consequentemente das águas ruças, consoante no sistema utilizado. No passado a moenda era efectuada em moinhos de pedra, que têm vindo a ser gradualmente substituídos por equipamentos de metal, o que nem sempre beneficia a qualidade do produto final. De facto, as pás metálicas sujeitam a pasta de azeitona a um movimento mais violento, causando um aumento da temperatura da pasta o que tem como consequência um aumento da actividade enzimática. Este aumento de temperatura leva a que o azeite obtido apresente teores



elevados de compostos voláteis, comparativamente com a moenda efectuada em moinhos de pedra (Angerosa e Di Giacinto, Caratteristiche di qualità dell'olio di oliva vergine in relazione ai metodi di frangitura 1995). Há igualmente que considerar que a utilização de equipamentos metálicos contribui para o aumento da contaminação por metais, principalmente o ferro que, exibindo uma actividade oxidante, tem repercussões não só na diminuição da estabilidade do azeite resultante face à oxidação, mas também na potenciação do atributo metálico ao azeite obtido (CEE 1992). Nos períodos em que não são utilizados, os equipamentos tendem a revestir-se de camadas finas de óxido de ferro (FeO) que podem ser solubilizadas pelos ácidos gordos livres (AGL) do azeite (Angerosa, Influence of volatile compounds on virgin olive oil quality evaluated by analytical approaches and sensor panels 2002).

A grande importância das características organolépticas dos azeites virgens leva a que se tomem alguns cuidados durante a moenda. Os principais parâmetros a tomar em consideração são a duração da moenda e o grau de trituração, que nos moinhos de martelos está directamente relacionado com diâmetro da malha dos crivos. A duração da moenda reflecte-se na composição do azeite na medida em que influencia a actividade das enzimas hidrolíticas. Se por um lado a hidrólise dos glucósidos é necessária para a solubilidade dos fenóis complexos, normalmente associados aos atributos amargo ou picante, por outro lado a operação deve ser realizada de modo a evitar acções hidrolíticas mais intensas que degradam a qualidade do produto final (Fideli, 1996; CEE, 1992). Um tempo demasiado prolongado de contacto da pasta com o ar, pode prejudicar o azeite pois o oxigénio provoca a formação de elementos oxidados, que, mais tarde, degeneram em ranço. Dever-se-á também reduzir ao mínimo a superfície livre da pasta, por forma a reduzir as perdas dos aromas do azeite (Carvalho 1987).

A moenda e a malaxagem (etapa imediatamente a jusante da primeira) são operações que preparam a pasta para a extracção propriamente dita e são, na maioria dos casos, responsáveis pelo sucesso ou insucesso dos lagares.

### **5.3.1. Moinho de galgas**

O moinho pode ter várias configurações adoptando duas a quatro pedras tronco-cónicas, geralmente de granito, sobre uma base de pedra granítica, aliando a tradição à tecnologia, estando ajustadas de acordo com o tamanho do caroço triturado e polpa necessária. A versão mais recente de moinhos de galgas consiste estruturalmente numa bacia de metal, com um obturador lateral para a descarga da pasta, sobre a qual, mós de granito verticais com diâmetros de 1,2 a 1,4 m giram a uma velocidade de 12 a 15 rpm (Petrakis 2006).

O tapete transportador alimenta a zona central do moinho, onde a azeitona é esmagada e transformada em pasta, empurrada para o exterior com auxílio de um raspador, sendo esta depois conduzida para uma bateadeira para malaxagem. A moenda é lenta e regular, evitando-se a formação de emulsões e o aumento substancial da temperatura da pasta de azeitona.

**As vantagens desta tecnologia incluem:**

- Reduzida libertação de clorofila pois não há corte do epicarpo, apenas esmagamento;
- Formação de gotas de azeite de grande dimensão o que diminui o tempo de batadura;
- Reduzidas variações na temperatura;
- Baixos teores em compostos fenólicos, o que reduz o atributo “amargura” do azeite e a toxicidade das águas ruças.

**Por outro lado, as desvantagens incluem:**

- Equipamento volumoso e dispendioso;
- Dificuldade na higienização das pedras;
- Presença de azeitonas verdes prolonga o tempo de moenda;
- Processo lento e descontínuo;
- Baixos teores de compostos fenólicos, o que encurta o prazo de duração após o embalamento;
- Elevado número de reacções oxidativas devido ao longo período de contacto com o ar.

### **5.3.2. Moinho metálico**

#### **5.3.2.1. Moinho de martelos**

Entre os moinhos metálicos, o moinho de martelos é o mais utilizado sendo constituídos por um tambor cilíndrico vertical equipado com braços metálicos, que giram a uma velocidade elevada, como o se apresenta na Figura 5.1. Estes pressionam as azeitonas contra a parede lateral da câmara por acção rotacional, obrigando-as a passar pelo crivo existente, transformando-se assim em pasta.



**Figura 5.1: Moinho metálico de martelos (lagar A)**

A malha do crivo geralmente apresenta uma abertura entre 5 a 7 mm e devem ser escolhidos de acordo com o sistema de extracção e do grau de maturação das azeitonas para se obter a consistência da pasta pretendida (Petrakis 2006).

**As vantagens desta tecnologia incluem:**

- Processo contínuo;
- Fácil higienização do equipamento;
- Tecnologia bem conhecida;
- Elevados teores de compostos fenólicos, o que prolonga o prazo de duração após o embalamento.

**Por outro lado, as desvantagens incluem:**

- Possibilidade de se criar uma emulsão dificultando a separação entre o azeite e a água;
- Aquecimento da pasta devido à acção rotacional;
- O atributo “amargura” do azeite é superior devido aos teores de compostos voláteis. Pode-se considerar uma vantagem com azeitonas caracterizadas por apresentarem níveis naturalmente reduzidos destes compostos, como no tipo Arbequina.

### **5.3.2.2. Moinho de dentes**

Este tipo de moinho é menos comum que o anterior. As azeitonas alimentam o moinho pela zona central em que um motor eléctrico faz girar a roda dentada triturando as azeitonas à medida que a pasta triturada se vai deslocando para a periferia do tambor e consequentemente é extraída deste (Petrakis 2006).

**As vantagens desta tecnologia incluem:**

- Processo contínuo;
- Equipamento menos dispendioso que o anterior;

- Elevados teores de compostos fenólicos, o que prolonga o prazo de duração após embalamento.

**Por outro lado, as desvantagens incluem:**

- A dimensão da azeitona fragmentada que compõe a pasta não pode ser modificada pois os dentes metálicos estão fixos à placa giratória;
- Possibilidade de se criar uma emulsão dificultando a separação entre o azeite e a água;
- Aquecimento da pasta devido à acção rotacional;
- O atributo “amargura” do azeite é superior devido aos teores de compostos fenólicos. Pode-se considerar uma vantagem com azeitonas caracterizadas por apresentarem níveis naturalmente reduzidos destes compostos, como no tipo Arbequina.
- A presença de materiais resistentes, como gravilha, pode danificar os dentes metálicos sendo a sua reparação bastante dispendiosa.

### 5.4. Malaxagem

A malaxagem, ou batedura das massas, é necessária para uniformizar a massa e provocar a coalescência de pequenas gotas de azeite em gotas maiores que favorecem a etapa posterior de separação do azeite da água. Após a moenda apenas 45% das gotas de azeite presentes na pasta apresentam mais de 30 µm, sendo esta a dimensão mínima para um bom funcionamento do processo de separação contínua. Esta percentagem sobe para 80% após a batedura, aumentando igualmente o número de gotas de maiores dimensões (Petrakis 2006).

As batedeiras diferem em tamanho, forma e *design*, sendo geralmente divididas em verticais ou horizontais. As batedeiras horizontais (as mais utilizadas) consistem em cubas cilíndricas de parede dupla, apresentam um eixo horizontal equipado com pás furadas para envolver a pasta, e rodando a baixa velocidade (19 a 20 rpm) por forma proporcionar uma mistura lenta, como a que se apresenta na Figura 5.2. Está igualmente equipada com um sistema de aquecimento com água quente que atravessa uma câmara exterior (Kapellakis, Tsagarakis e Crowther, Olive oil history, production and by-product management 2008).



Figura 5.2: Câmara de malaxagem (lagar A)

#### 5.4.1. Parâmetros de controlo

O tempo e a temperatura de batadura são dos parâmetros mais importantes a controlar nesta etapa.

##### a) Tempo

Quanto maior for o tempo de batadura, maior será o aproveitamento do azeite e consequentemente haverá uma diminuição de óleos e gorduras na água ruça. De acordo com Di Giovacchino, et al. (2002), este estudo foram efectuados vários ensaios com mesmo equipamento de moenda (moinho de martelos) e extracção (*decanter* de 3 fases) com diversas variedades de azeitona, caracterizados por tempos de batadura de 15, 45 e 90 minutos. As diferenças nas eficiências de extracção foram devido às diferentes quantidades de azeite perdido nos subprodutos (bagaço e água). A quantidade média de azeite no bagaço diminuiu de 3,1 para 2,2 kg/100 kg de azeitonas, e na água de 0,7 para 0,3 kg/100 kg de azeitonas de azeitonas, com o aumento de tempo de batadura de 15 para 90 minutos. Na tabela seguinte resumem-se os dados obtidos.

Tabela 5.1: Influência do tempo de malaxagem nos subprodutos da laboração da azeitona

Fase	Determinações	Unidades	Tempo de malaxagem (min)		
			15	45	90
Azeite	Taxa de extracção	%	78,5	82,8	85,7
	Quantidade	kg/100kg azeitona	71,7	71,9	71,5
Bagaço	Humidade	%	57,7	58,2	58,9
	Óleo	%	4,4	3,6	3,1
	Óleo	kg/100kg azeitona	3,1	2,6	2,2
	Quantidade	l/100kg azeitona	25	20	20
Água	Matéria seca	%	13,8	14,4	14,5
	Óleo	%	2,8	2,1	1,6

Óleo nos subprodutos	kg/100kg azeitona	0,7	0,5	0,3
Perda total de azeite nos subprodutos	kg/100kg azeitona	3,8	3,1	2,5

**Adaptado de Di Giovacchino, et al. (2002)**

### **b) Temperatura**

A viscosidade do azeite varia em função da temperatura, e normalmente uma elevação da temperatura da pasta garante rendimentos mais elevados, ao permitir na etapa seguinte uma melhor separação água-azeite. Contudo, um aquecimento excessivo dos azeites provoca alterações prejudiciais de qualidade, pelo facto dos compostos aromáticos voláteis desaparecerem rapidamente.

A composição fenólica no azeite é fortemente influenciada pela temperatura de malaxagem, de acordo com Parenti, et al. (2008). O aumento da temperatura por um lado acelera a degradação dos constituintes mas, por outro, aumenta a solubilização dos fenóis hidrofílicos no azeite. Os resultados obtidos indicam que a concentração de fenóis no azeite aumenta proporcionalmente com a temperatura até aos 26-27°C, diminuindo a partir deste intervalo.

É prudente proceder-se ao controlo da pasta enquanto está no processo de batedura, verificando a cor e a fluidez desta, e detectar se há azeite à superfície. Assim, ao verificar-se qualquer anomalia, há a possibilidade de ajustar a velocidade das pás da câmara de batedura bem como a temperatura do processo, de modo a obter-se o produto nas melhores condições possíveis. Quando a pasta está convenientemente batida e aquecida procede-se à extracção propriamente dita, ou seja, à separação da fase sólida (o bagaço de azeitona) das fases líquidas (azeite e água ruça).

## **5.5. Separação de fases**

A prensagem e a centrifugação constituem os processos mais utilizados para separar os constituintes líquidos da pasta de azeitona. A alteração dos constituintes, quer na quantidade como na qualidade, depende das interacções que ocorrem não só entre o azeite e o bagaço como também da que ocorre entre o azeite e a água. De um modo geral, o azeite obtido por prensagem exhibe melhor qualidade organoléptica do que obtido por centrifugação. No entanto, os processos por centrifugação são mais utilizados, pois envolvem menos etapas o que contribui para a redução do tempo de laboração. Os processos de prensagem requerem uma filtração do azeite, que sem a adequada manutenção higiénica dos filtros podem conduzir ao desenvolvimento de fermentações, o que potencia o emergir

do atributo negativo designado por “borra” (CEE 1992). O operador deve manter a linha de produção limpa de azeite, água ruça e bagaço. O responsável pela produção deve ajustar a velocidade de rotação do equipamento, do caudal de pasta a entrar, o rácio e a temperatura de água a injectar de forma a permitir controlar da melhor forma possível a eficiência de extracção e a qualidade do azeite extraído.

### **5.5.1. Prensagem**

#### **5.5.1.1. Prensa de alavanca ou parafuso**

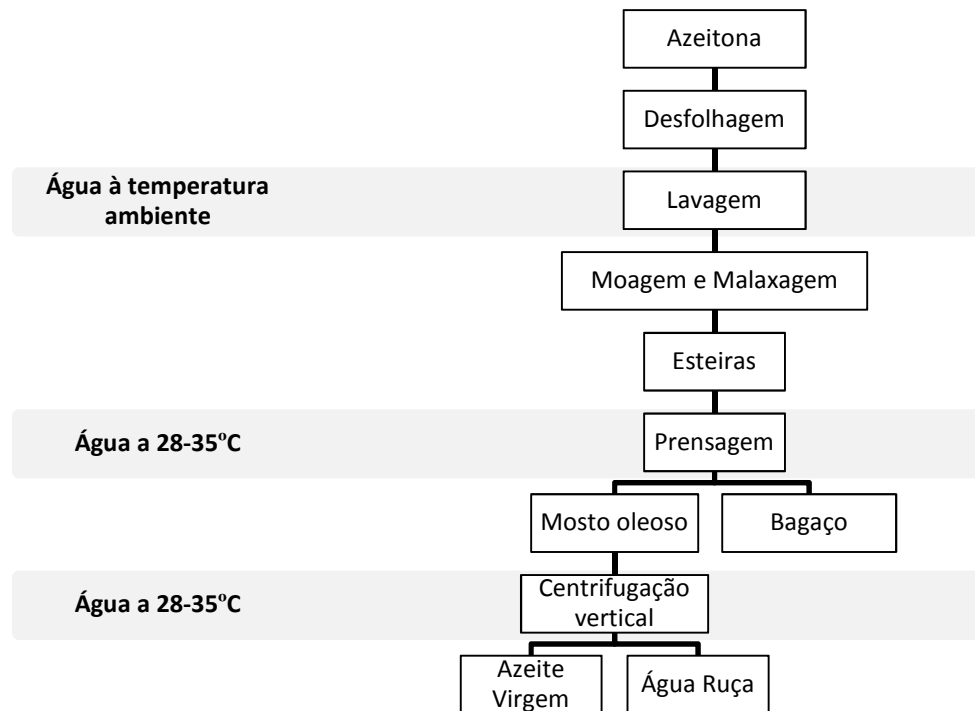
Historicamente, a pasta de azeitona era colocada em esteiras redondas ou em sacos de aniagem e apertados com o auxílio de um parafuso de torção. Estas prensas eram de grandes dimensões com baixos rendimentos de extracção, a pressão era reduzida, o processo descontínuo e a limpeza completa das esteiras ou sacos muito complicada.

#### **5.5.1.2. Prensa hidráulica**

Este é o sistema mais clássico e associado geralmente ao moinho de galgas. A pasta é colocada em esteiras, empilhadas no prato inferior da prensa sendo então comprimida. Baseia-se no facto da pasta de azeitona, sob a acção da pressão, libertar o mosto oleoso (água e azeite) que se separa da fase sólida. O azeite puro é separado através de um processo onde é introduzida água quente sobre as esteiras, e escorre para as fontes que são recipientes colocados por baixo das prensas. Devido à diferença de densidades do azeite e da água, os dois líquidos são separados por decantação, obtendo-se o azeite virgem e a água (Carvalho 1987).

Hoje em dia, a extracção por prensas é normalmente efectuada em prensas hidráulicas que trabalham a uma pressão de serviço até 400 atm. Este sistema trabalha em modo descontínuo, com o aumento gradual da pressão até ao valor anteriormente referido, num intervalo de tempo de 45 a 60 minutos, mantendo-se em máxima pressão durante um período adicional de 10-20 minutos. Após a prensagem, uma pequena quantidade de água é utilizada para lavar o material preso nas esteiras e o mosto oleoso deve ser encaminhado para uma clarificação. Na prática, este sistema apresenta um rendimento de extracção de 86 a 90%, sendo obtido um bagaço com humidade de cerca de 28% (Petrakis 2006). Na

Figura 5.3 apresenta-se a linha de produção de um lagar equipado com um sistema de extracção tradicional por prensas.



**Figura 5.3: Diagrama do processo com sistema de extração tradicional**  
 Adaptado de Di Giovacchino, et al. (2002)

### 5.5.2. Centrifugação horizontal

Este método de separação é baseado no princípio de que qualquer combinação de líquidos imiscíveis com diferentes densidades tendem a separar-se espontaneamente, sendo suportado pelo facto da força da gravidade sobre o líquido permitir que a fracção menos densa se ascenda sobre a fracção mais densa. Se a única força aplicada numa emulsão fosse a da gravidade, a velocidade de separação seria naturalmente lenta. Deste modo, caso se submeta a mistura a uma força gravitacional forçada, a velocidade de separação aumenta, acelerando o processo de extração. Tal é efectuado através de máquinas rotativas, denominadas *decanter*s cuja velocidade e eficiência de separação são directamente proporcionais à velocidade angular, ao raio de rotação, e à diferença na densidade das fases líquidas (Petrakis 2006).

Esta etapa é geralmente materializada em *decanter*s de três ou duas fases, onde há separação de uma fase sólida e duas fases líquidas (sólido, água ruça e azeite) e separação de uma fase sólida de uma fase líquida (sólido com alto teor de humidade e azeite), respectivamente. Na figura seguinte apresenta-se a linha de produção de um lagar equipado com um sistema de extração contínuo de duas e três fases.



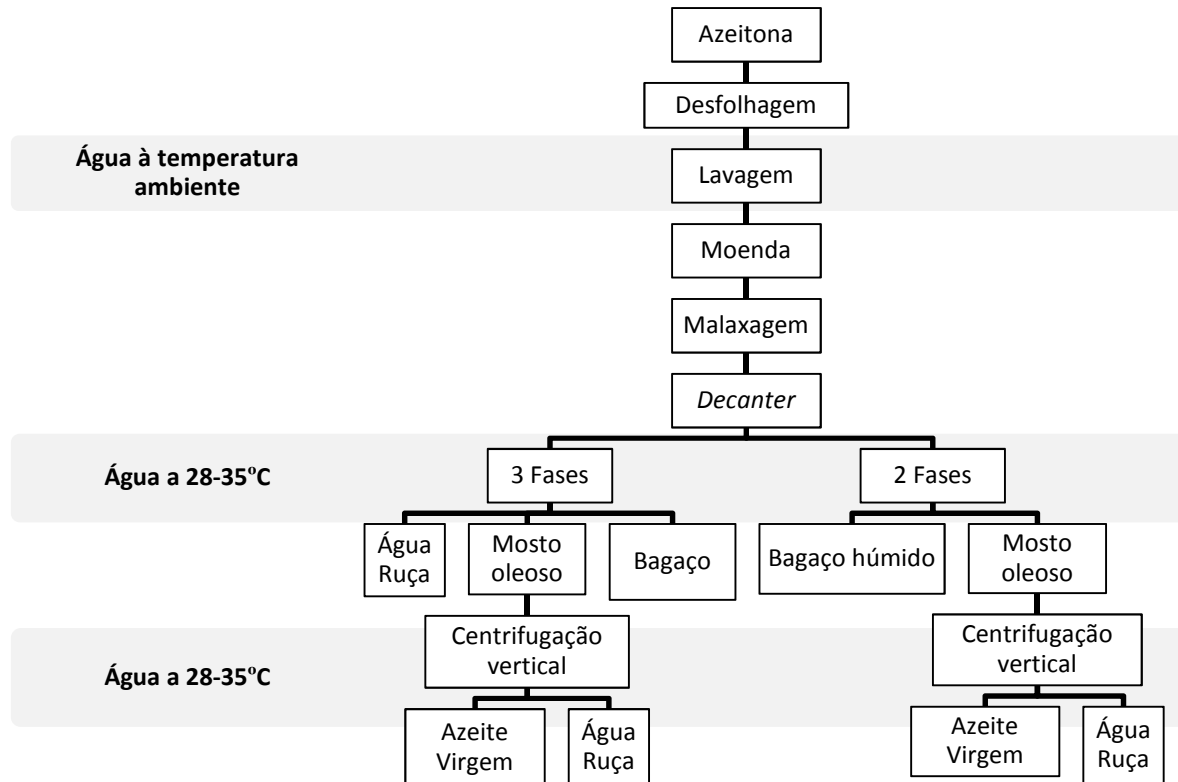


Figura 5.4: Diagrama do processo com sistema de extração contínuo de duas e três fases  
Adaptado de Di Giovacchino, et al. (2002)

#### 5.5.2.1. Processo de separação de 3 fases

Estes equipamentos são constituídos por um parafuso e por um tambor rotativo. Uma ligeira diferença entre a velocidade de rotação do tambor e do parafuso interior (mais rápido) permite o arrastamento do bagaços para uma das extremidades do *decanter*, enquanto que o mosto oleoso e a água ruça são extraídos pela extremidade oposta (Carvalho 1987). As diferentes densidades das três fases envolvidas (mosto oleoso, água de vegetação misturada com água adicionada ao processo e bagaço da azeitona) fazem com que a separação seja efectuada num curto espaço de tempo.



**Figura 5.5 Decanter de três fases (lagar A)**

A separação entre a fase sólida e as fases líquidas no *decanter* é facilitada por intermédio da adição de água morna (40 a 60% do peso das azeitonas e entre 28 a 35°C) ao processo com o intuito de fluidizar a pasta de azeitona. Consequentemente há um aumento substancial de produção de águas ruças (1,25 a 1,75 vezes mais quando comparado com o processo por prensagem segundo Petrakis (2006)), redução da concentração de fenóis na fase aquosa e diminuição da concentração de fenóis na fase oleosa devido ao desequilíbrio de partição entre as fases aquosa e oleosa.

De acordo com Kiritsakis (1998), a quantidade de água adicionada afecta directamente o rendimento de extracção. A quantidade óptima de água adicionada é determinada pelas características da pasta e das condições de operação do *decanter*. É estimada empiricamente pela observação do azeite extraído, o qual deve ser limpo, e da água ruça, que não deve ter um aspecto oleoso.

Constituintes hidrofílicos como os fenóis são solúveis na água e no azeite, dependendo dos respectivos coeficientes de partição ( $K_p$ ) e da temperatura do meio. A adição de água à pasta altera o equilíbrio de partição entre as fases aquosa e oleosa, transformando a água ruça numa potencial fonte de polifenóis, conferindo-lhe alta fitotóxicidade (Mulinacci, et al. 2001).

Com o objectivo de redução de custos no consumo de água e na produção de águas ruças, há sempre a possibilidade de reciclar a fase aquosa extraída, reintroduzindo-a no *decanter*. Esta técnica permite reduções no caudal de água ruça de 35 a 40% e aumentar a concentração de fenóis no azeite em 30% (Di Giovacchino, Sestili e Di Vincenzo, Influence of olive processing on virgin olive oil quality 2002). A contrapartida inerente é que esta é uma prática que afecta negativamente a qualidade final do azeite, sendo por isso muitas vezes condicionada.

**As vantagens desta tecnologia incluem:**

- Equipamento compacto;
- Sistema semi-contínuo e autónomo;
- Número reduzido de operadores presentes.

**Por outro lado, as desvantagens incluem:**

- Custo elevado;
- Necessidade da presença de operadores técnicos;
- Elevado consumo de energia;
- Elevado caudal de água adicionada;
- Grande quantidade de água ruça produzida;
- Perda de compostos fenólicos devido à injeção de água;
- Equipamento sujeito a desgaste aquando da presença de gravilha ou areias.

**5.5.2.2. Processos de separação de 2 fases**

Esta tecnologia tem atraído um interesse especial quando há escassez de água na região. O *decanter* necessita da adição de quantidades muito reduzidas de água à pasta de azeitona, da qual resultam duas fases, o azeite e o bagaço. Produzem-se menores quantidades de água ruça e obtém-se um bagaço com um elevado teor de humidade (65-72%) designado por bagaço húmido (Di Giovacchino, Sestili e Di Vincenzo, Influence of olive processing on virgin olive oil quality 2002).

A variedade da azeitona bem como o seu estado de maturação pode influenciar a escolha do tipo de *decanter*. Caso a azeitona apresente baixo teor de fenóis e o sistema de extracção escolhido for um *decantador* de 3 fases, o azeite produzido poderá ser insuficientemente frutado, amargo, picante e estável.

A Tabela 5.2 apresenta as características dos subprodutos gerados pelos dois tipos de *decanteres*.

**Tabela 5.2: Valores médios de taxas de extracção e algumas características qualitativas de subprodutos obtidos por *decanter*s de duas e três fases.**

Fase	Determinações	Unidades	Centrifugação horizontal	
			2 fases	3 fases
Azeite	Taxa de extracção	%	86,10	85,10
Bagaço	Quantidade	kg/100kg azeitona	72,50	50,70
	Humidade	%	57,50	52,70
	Óleo	%	3,16	3,18
	Óleo	% de matéria seca	7,44	6,68
Água	Quantidade	l/100kg azeitona	8,30	97,20
	Resíduo seco	%	14,40	8,50
	Óleo	g/l	13,40	12,60
	Óleo nos subprodutos	kg/100kg azeitona	2,42	2,80

Adaptado de Petrakis (2006)

### 5.5.2.3. Separação das fases líquidas

O mosto oleoso passa através de centrífugas verticais com velocidades rotacionais entre 6000 e 7000 rpm para a purificação do azeite. Cada *decanter* tem uma capacidade máxima horária, dependendo das suas características de fabrico. Em geral, esta capacidade varia entre 1,5 a 6,5 ton/h. Quando esta capacidade é excedida, o desempenho do *decanter* é posto em causa o que resulta na ineficiência de separação do azeite da água (Kapellakis, Tsagarakis e Crowther, Olive oil history, production and by-product management 2008).

Dependendo do tipo de equipamento usado no processo de extracção e da qualidade do azeite extraído pelo *decanter*, esta etapa poderá ser ou não ser necessária. Como na grande parte dos casos se verifica que o azeite extraído não é completamente puro, apresentando vestígios de polpa ou água, esta etapa é de facto crucial para que o produto final vá de encontro aos objectivos de qualidade.

Injecta-se água quente em pequena quantidade, cerca de 25 a 35% do mosto oleoso, para que água e o azeite sejam separados pela interfase. O caudal e temperatura da água de lavagem injectada podem ser ajustados pelo operador com o objectivo de maximizar a eficiência de separação. Se a água não é introduzida em quantidade suficiente, o azeite pode permanecer com impurezas. Em relação à temperatura, se por um lado esta for demasiado baixa o azeite poderá sair emulsionado com a água, por outro o azeite pode perder qualidades aromáticas. Tecnicamente, a água extraída deverá apresentar menos de 1% em azeite e 0,5% de sólidos suspensos e o azeite limpo deverá conter menos que 0,1% de água e sólidos totais.



**Figura 5.6: Centrífuga vertical (lagar A)**

**As vantagens desta tecnologia incluem:**

- Processo rápido e contínuo;
- Elevada eficiência de extracção;

**Por outro lado as desvantagens são:**

- Elevado custo;
- Elevado consumo de energia;
- Difícil higienização. Existem actualmente modelos equipados com autolimpeza.



## 6. DIAGNÓSTICO SETORIAL

### 6.1. Caracterização mundial

A produção de azeite a nível mundial está limitada por questões edafo-climáticas, a duas zonas do globo que se situam nos paralelos 30 e 45 dos hemisférios norte e sul, respectivamente. Estas condições adaptadas à cultura e à sua localização no território, com manchas relevantes em algumas regiões e com importante diversidade de variedades, potenciam os requisitos para a produção de azeite de qualidade. O tipo de clima propenso ao cultivo da azeitona, segundo a Classificação de Köppen-Geiger, é o Clima Mediterrânico cujo código é Csa (clima com temperatura no mês mais frio abaixo de 18°C, nos três meses mais frios maiores que -3°C e no mês mais quente maior ou igual a 22°C). Como se mostra na Figura 6.1, a Bacia do Mediterrâneo localiza-se na latitude 30°N e, sendo a região de maior produção de azeitona e azeite mundial. A Figura 6.2 ilustra os dois tipos de clima característicos em Portugal Continental, Csa e Csb (ambos Clima Mediterrânico), sendo que as regiões sujeitas ao primeiro, são aquelas de maior produção a nível nacional.

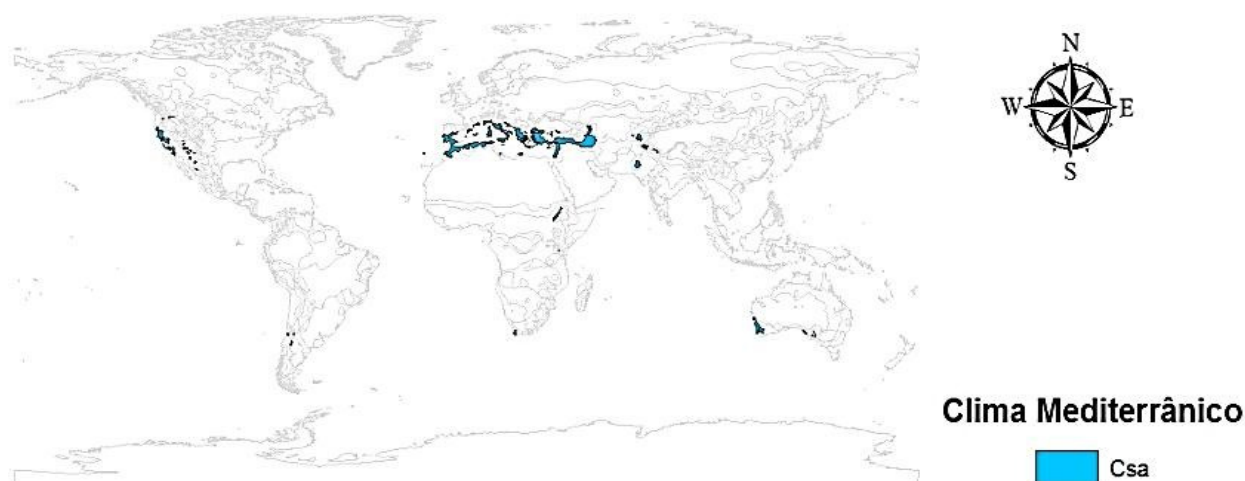
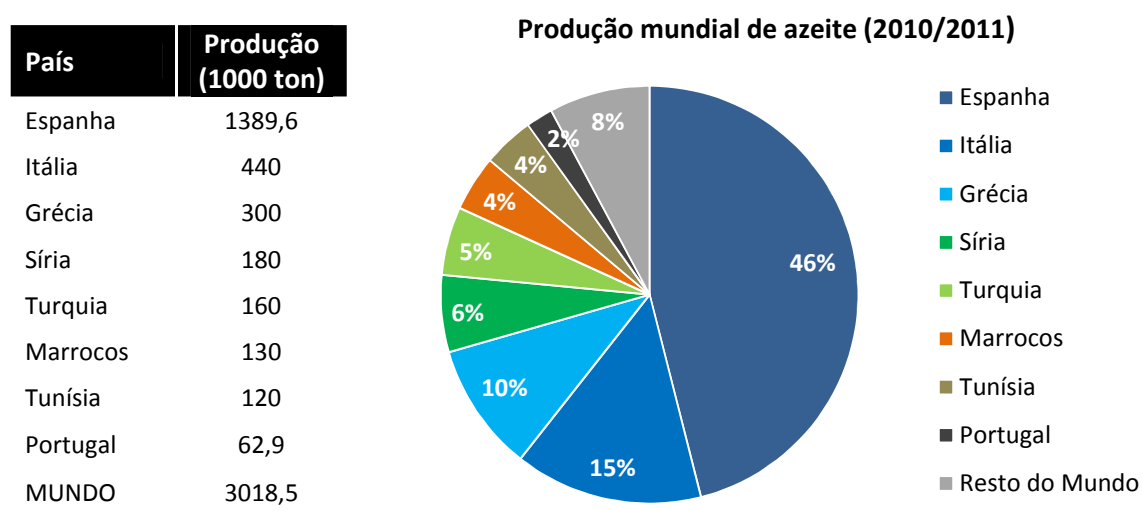


Figura 6.1: Regiões do mundo com Clima Mediterrânico (Csa) segundo a Classificação de Köppen-Geiger



**Figura 6.2: Regiões de Portugal Continental com Clima Mediterrânico (Csa e Csb) segundo a Classificação de Köppen-Geiger**

Actualmente, cerca de 95% da superfície oleícola mundial está concentrada na Bacia Mediterrânica. Os países produtores de azeitona e azeite da União Europeia, nomeadamente Espanha, Itália, Grécia e Portugal, são responsáveis por 97,4% das 3.018.500 toneladas de azeite produzidas a nível mundial na campanha de 2010/2011 (IOC 2012). A figura seguinte indica quais os maiores produtores de azeite na campanha 2010/2011, as quantidades produzidas e as respectivas percentagens.



**Figura 6.3: Principais produtores mundiais de azeite e respectiva quantidade produzida na campanha 2010/2011**  
Adaptado de IOC (2012)

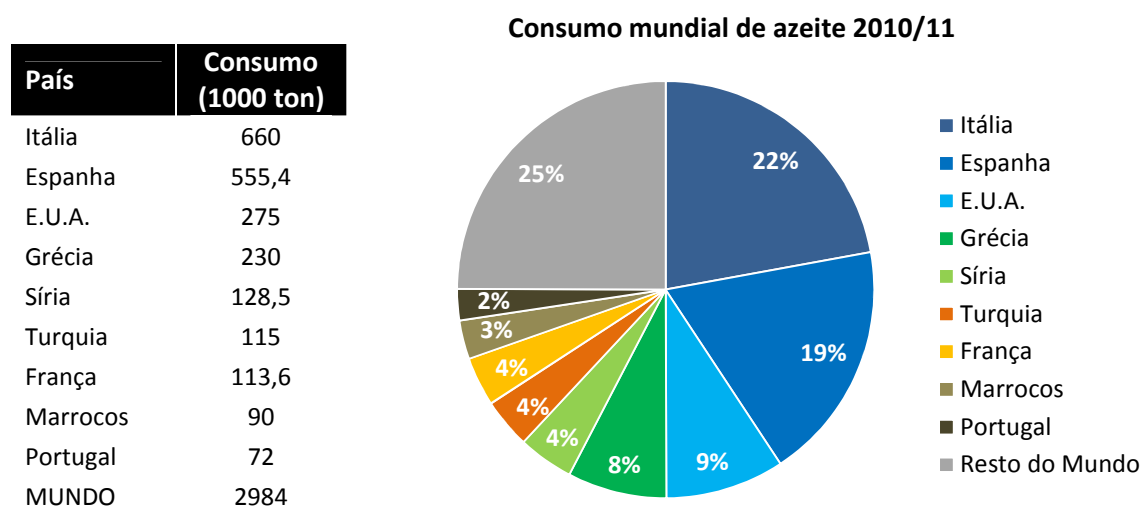


Da análise dos dados apresentados verifica-se que a Espanha é o maior produtor mundial de azeite, com 1.389.600 toneladas de azeite produzido na referida campanha. A Andaluzia é a mais importante região produtora espanhola e mundial, contribuindo com 75% a 80% do azeite espanhol. Desde a campanha de 1990/1991 até 2010/2011, a produção mundial aumentou cerca de 107%, registando-se ligeiras oscilações ao longo do tempo.

A UE, para além de ser o principal produtor mundial de azeite, posiciona-se neste sector também como principal consumidor, responsável por 62,2% do azeite consumido na referida campanha, com 1.856.000 toneladas. Desde a campanha de 1990/1991 até 2010/2011, o consumo mundial aumentou 79%, registando-se uma pequena quebra em apenas duas campanhas (IOC 2012).

Países como os Estados Unidos da América (E.U.A), Brasil ou Japão, onde o hábito de consumo tem vindo a crescer, já apresentam algum peso na balança do consumo de azeite, estando o primeiro na 3ª posição do *ranking* mundial. Estes países têm vindo a registar evoluções positivas no consumo, o que os tornam mercados alvo de acentuado interesse (IOC 2012).

Relativamente ao consumo de azeite a nível mundial, a Figura 6.4 mostra o consumo dos principais países associados à campanha de 2010/2011.



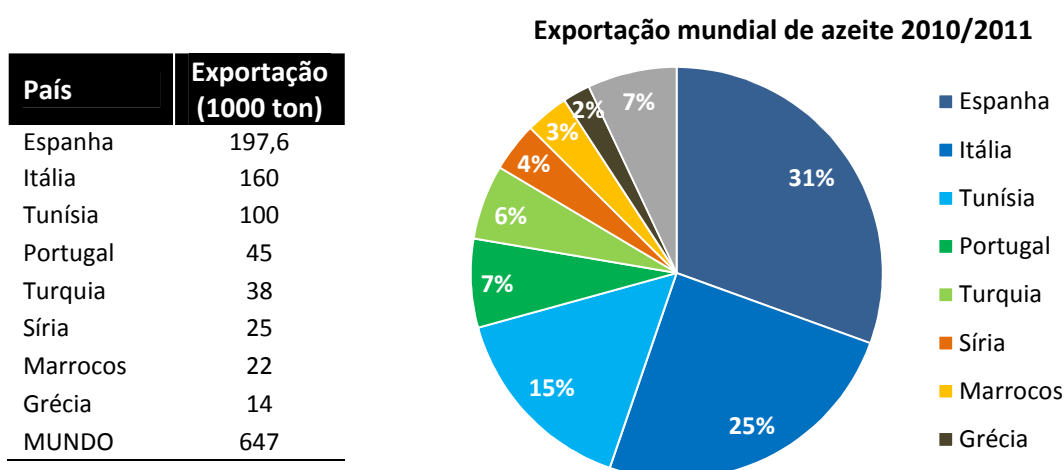
**Figura 6.4: Principais consumidores mundiais de azeite e respectiva quantidade consumida referente à campanha 2010/2011**

Adaptado de IOC (2012)

O aumento da produção comunitária foi mais expressivo que os progressos registados em termos de consumo (no período 1994/1995 a 2004/2005 a taxa média de crescimento anual da produção foi de 5,1% e a do consumo de 3,3%). Portugal, a par de Espanha e França, são os Estados Membros em que os acréscimos de consumo têm sido mais acentuados, sendo Itália, Espanha e Grécia os maiores consumidores em termos absolutos (IOC 2012).

O índice de consumo de azeite *per capita* em Portugal no ano de 2005 era de 7,5 kg/habitante.ano, o que estava bastante aquém dos registados nos outros Estados Membros, como a Grécia (25 kg/habitante.ano), Espanha (12,6 kg/habitante.ano) e Itália (12,3 kg/habitante.ano), estando ainda distanciado dos atingidos na década de 60 (10,5 kg/habitante.ano) (MADRP 2007). Em 2010 os valores alteraram-se um pouco, registando-se uma diminuição nestes valores. Sendo assim, e por ordem decrescente de um consumo *per capita*, Grécia, Espanha, Itália e Portugal apresentam valores na ordem dos 21,4, 11,8, 10,8 e 6,7 kg/habitante.ano, respectivamente. Os E.U.A. apesar de se apresentarem em 4º lugar do ranking mundial no consumo de azeite, apresentam apenas 0,9 kg/habitante.ano, pois a sua população é claramente superior aos dos restantes países.

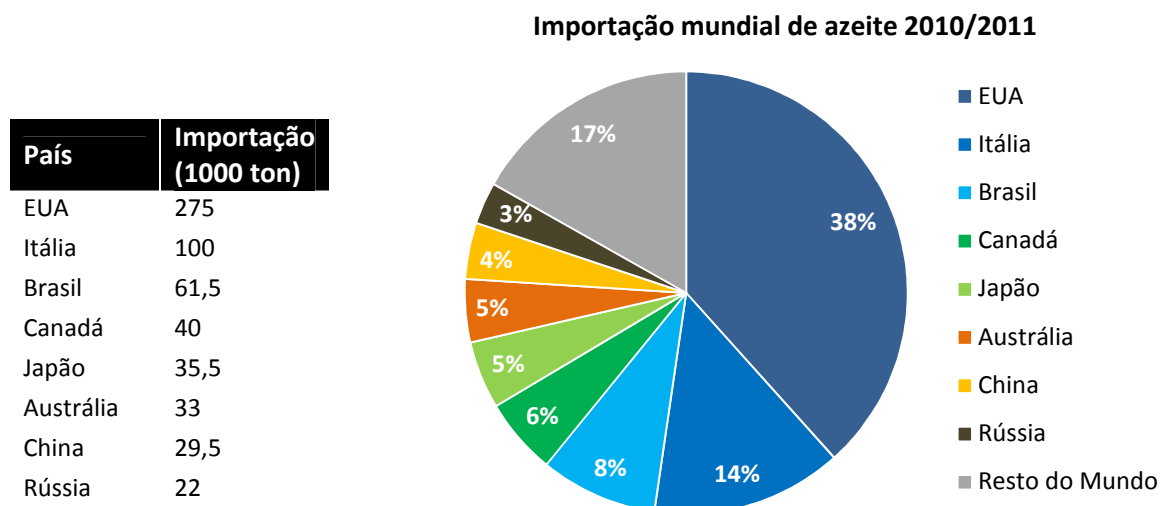
Em relação aos fluxos comerciais a nível mundial, as importações e exportações apresentam-se relativamente equilibradas, dando indicação de que este é um sector que não gera excedentes. Ao nível das trocas internacionais, os principais países exportadores são em grande parte países produtores, sendo a UE responsável por 65% das exportações mundiais (420.800 toneladas), Espanha é o maior exportador e Portugal aparece na 4ª posição do *ranking*, como ilustra a Figura 6.5. Desde a campanha de 1990/1991 até 2010/2011, a exportação mundial aumentou cerca de 92% (IOC 2012).



**Figura 6.5: Principais exportadores mundiais de azeite e respectiva quantidade exportada referente à campanha 2010/2011**

Adaptado de IOC (2012)

Os principais importadores de azeite são aqueles em que o cultivo da azeitona é francamente reduzido ou mesmo nulo, e cuja cultura gastronómica não predomina o azeite. São países que têm vindo a registar evoluções positivas do consumo, o que os torna mercados alvo de acentuado interesse. Avaliando o historial entre a campanha de 1990/1991 e 2010/2011, os EUA, Canadá e Brasil foram os países que mais aumentaram as importações com valores na ordem dos 200, 300 e 365%, respectivamente, como ilustra a Figura 6.6 (IOC 2012).

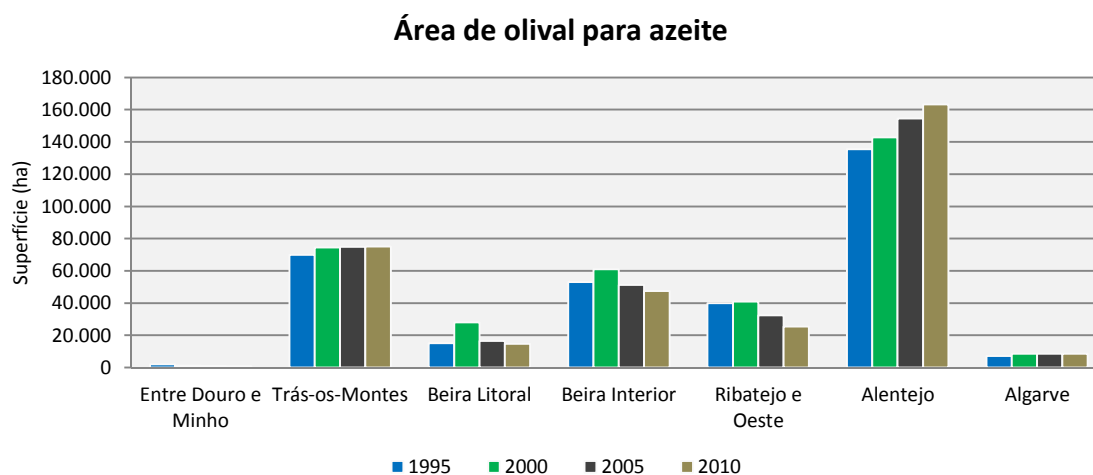


**Figura 6.6: Principais importadores mundiais de azeite e respectiva quantidade importada referente à campanha 2010/2011**  
Adaptado de IOC (2012)

## 6.2. Caracterização a nível nacional

A vocação dominante do olival português é a produção de azeite, com cerca de 97,7% do total da azeitona produzida destinada à obtenção deste produto e apenas cerca de 2,3% canalizada para a produção de azeitona de mesa (INE 2012).

A cultura do olival encontra-se distribuída por todas as Regiões Agrárias do Continente, sendo mínima na região do Entre Douro e Minho e maioritariamente presente no Alentejo. A Figura 6.7 apresenta a evolução da área ocupada por olival nas cinco regiões agrárias continentais entre 1995 e 2010 em intervalos quinquenais.



**Figura 6.7: Evolução da área de olival para azeite por Região Agrícola (1995 - 2010)**  
Adaptado de INE (2012)

É na região do Alentejo que se tem observado um maior investimento na produção da azeitona para azeite, relativamente à área de olival. A superfície da região destinada a esta cultura aumentou em 20%, de 135.536 ha em 1995 para 163.235 ha em 2010, com a implantação crescente de olivais super-intensivos.

A Tabela 6.1 apresenta o número de explorações em relação à superfície destinada ao olival, em 2009, por forma a permitir estimar a área média por exploração em cada região agrária.

**Tabela 6.1: Número de lagares e superfície média por lagar, por Região Agrícola**

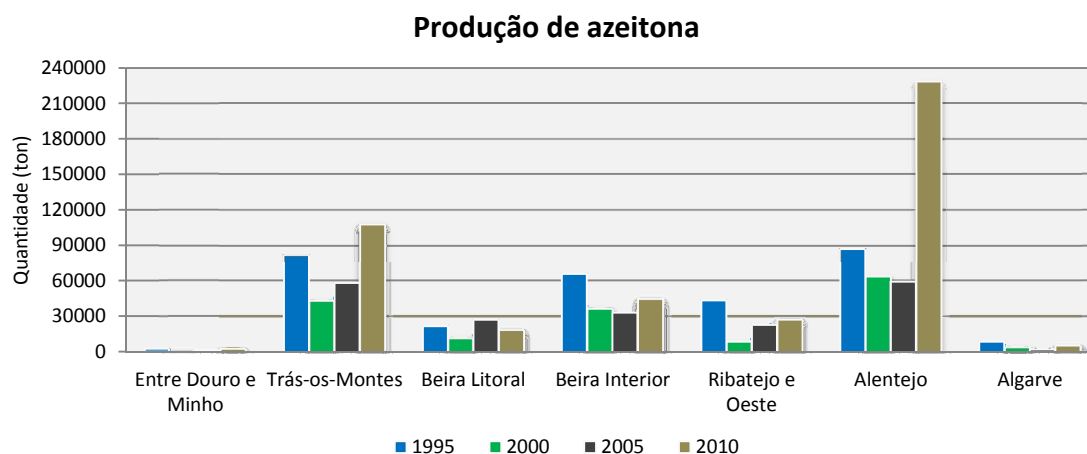
Regiões Agrárias	Explorações		Superfície		Superfície média por exploração (ha)
	nº	%	ha	%	
Entre Douro e Minho	2.975	2,3	879	0,3	0,3
Trás-os-Montes	36.334	27,8	75.117	22,3	2,1
Beira Litoral	2.2982	17,6	15.760	4,7	0,7
Beira Interior	26.498	20,3	47.550	14,1	1,8
Ribatejo e Oeste	13.545	10,4	25.500	7,6	1,9
Alentejo	19.750	15,1	163.235	48,5	8,3
Algarve	8.484	6,5	8.525	2,5	1,0
Portugal	130.568	100,0	336.566	100,0	2,6

Adaptado de INE (2012)

A nível nacional, 54% das explorações agrícolas com culturas permanentes são de olival para produção de azeite sendo que, da área deste tipo de olival, 54% situa-se em explorações com menos de 1 ha. Esta distribuição do olival traduz-se numa área média por exploração de 2,3 ha, só ultrapassada na região do Alentejo, apresentando todas as outras regiões uma dimensão média aquém do valor médio nacional.

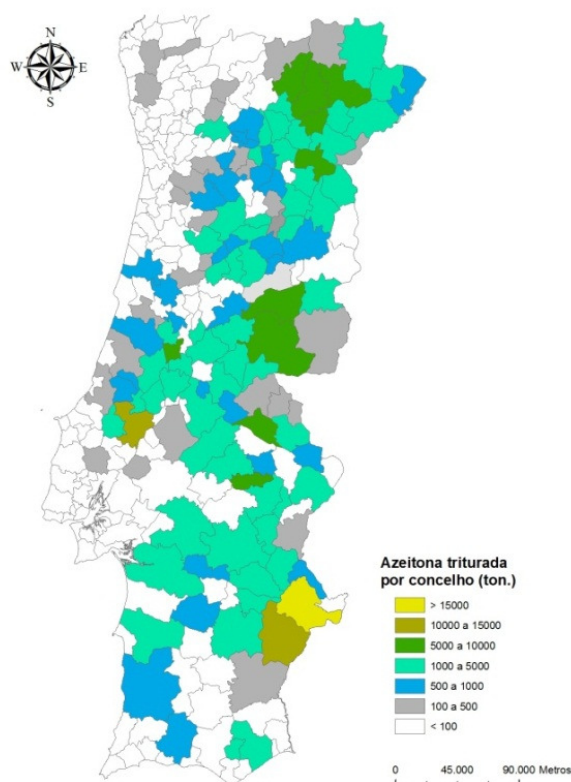
As variedades com aptidão para azeite dominantes nos novos olivais são na região do Alentejo a Cobrançosa e a Arbequina e na região de Trás-os-Montes a Madural, a Verdeal Trasmontana e a Cobrançosa.

A Figura 6.8 apresenta a evolução da produção de azeitona para azeite nas cinco regiões agrárias continentais entre 1995 e 2010 em intervalos quinquenais.



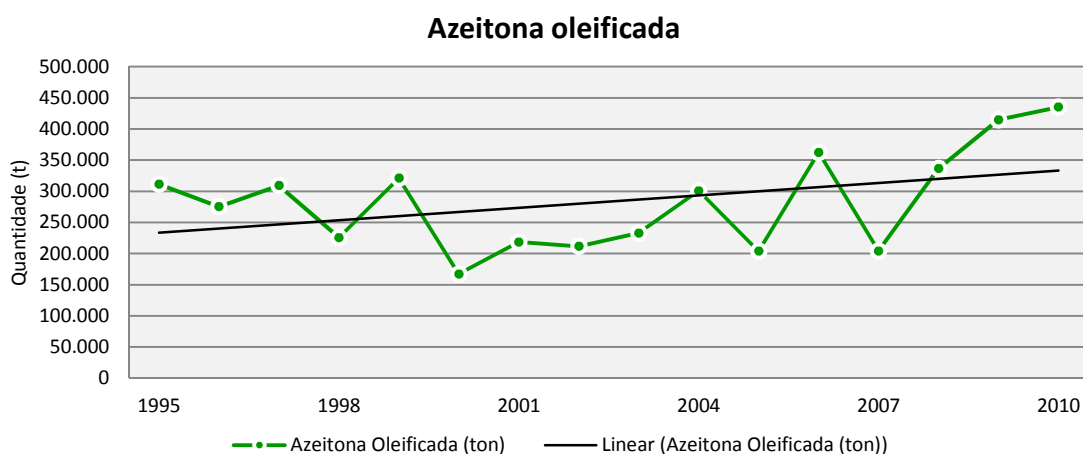
**Figura 6.8: Evolução da produção de azeitona por Região Agrícola (1995 - 2010)**  
Adaptado de INE (2012)

A produção de azeitona para azeite concentra-se fundamentalmente em duas regiões, Trás-os-Montes e Alentejo, com 24,8% e 52,4% em 2010, respectivamente. Em todo o período, desde 1995 a 2010, destaca-se uma quebra substancial em 2000, atingindo-se a nível nacional uma produção de 167.161 toneladas de azeitona. Em 2010 registou-se um pico na produção, muito devido à região do Alentejo, produzindo-se nesta 52,4% das 435.009 toneladas no total nacional. A figura seguinte apresenta a quantidade de azeitona laborada para a produção de azeite, destacando-se o interior do país sendo o Concelho de Moura o único a laborar na campanha de 2004/2004 mais de 15.000 toneladas de azeitona para a produção de azeite (MAOTDR 2007).



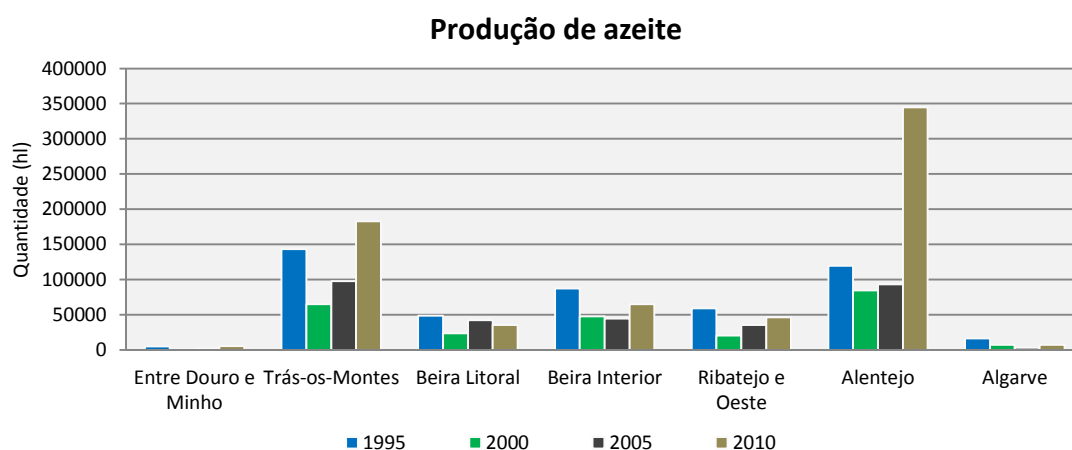
**Figura 6.9: Quantidade de azeitona laborada em toneladas por Concelho (campanha 2004/05)**  
Adaptado de MAOTDR (2007)

A Figura 6.10 apresenta a quantidade de azeitona oleificada a nível nacional, entre 1995 e 2010. Conclui-se que houve uma clara quebra entre 1995 e 2000, atingindo-se neste último ano o valor mínimo de 167.161 toneladas no ano 2000 (como seria espectável devido à quebra na produção de azeitona neste mesmo ano) e um máximo em 2010 de 435.099 toneladas.



**Figura 6.10: Evolução da quantidade de azeitona oleificada em Portugal Continental (1995 - 2010)**  
Adaptado de INE (2012)

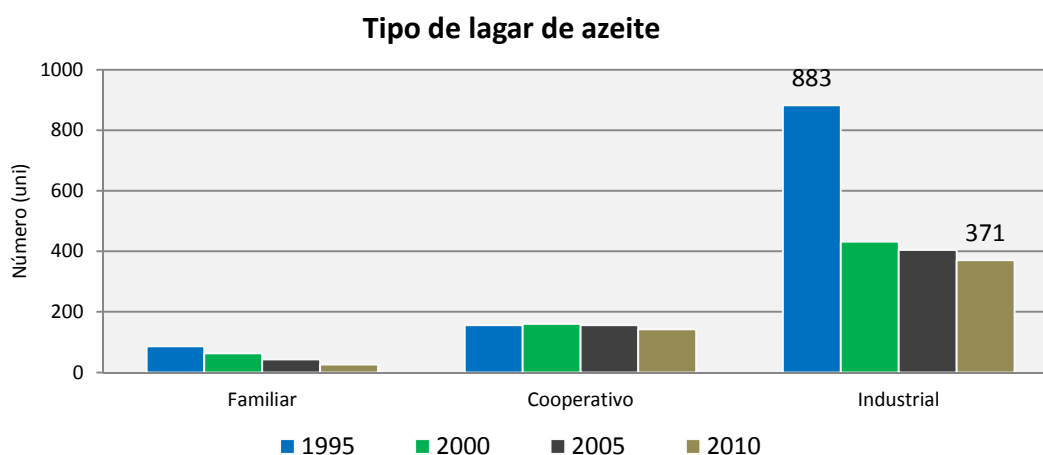
Esta crescente evolução na quantidade de azeitona oleificada deve-se muito ao investimento efectuado na região do Alentejo. O grupo Sovena investiu na região, e desde o início do projecto, em 2007, agregou 57 herdades distribuídas por três pólos e adquiriu 5.200 ha de olival do Projecto Terra, fazendo de Oliveira da Serra a marca com o maior olival do mundo. A Figura 6.11 apresenta a evolução da produção de azeite nas cinco regiões agrárias continentais entre 1995 e 2010 em intervalos quinquenais.



**Figura 6.11: Evolução da quantidade de azeite produzido por Região Agrícola (1995 - 2010)**  
Adaptado de INE (2012)

O Alentejo apresenta um aumento de 307% na produção de azeite desde 2000, sendo a região mais produtora de Portugal, com 344.875 hl, com 50,2% do total produzido em 2010. Os valores de produção de hoje em dia ainda estão muito aquém dos praticados nos anos 60, em particular em 1961, aquando se registaram 1.330.512 hl de azeite produzido. A capacidade de produzir em modo super-intensivo, faz com que a nova e moderna olivicultura, permita, não apenas aumentar a capacidade produtiva, mas também produzir azeites de melhor qualidade.

A Figura 6.12 apresenta a evolução do tipo de lagares em Portugal Continental, entre 1995 e 2010 em intervalos quinquenais, observando-se um decréscimo especialmente acentuado nos de tipo industrial entre os anos de 1995 e 2000.



**Figura 6.12: Evolução do número de lagares do tipo particular, cooperativo e industrial ao longo do tempo (1995 - 2010)**  
Adaptado de INE (2012)

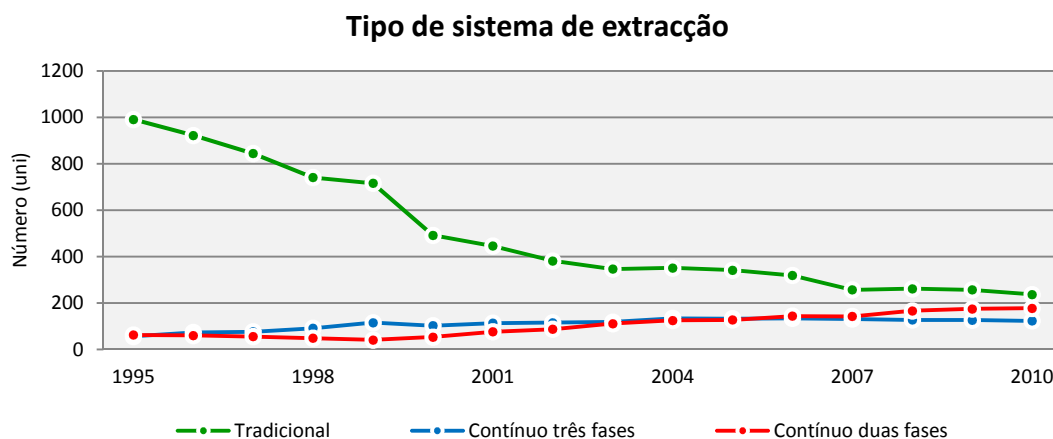
De acordo com o INE, em 1995 havia um total 1125 lagares de azeite em laboração, dos quais cerca de 80% eram do tipo industrial (883 lagares). Já em 2010, o número total de lagares no activo sofreu uma redução de quase 50 %, contabilizando-se em 539.

Apesar do número de lagares em exploração diminuir ao longo destes 15 anos, a quantidade de azeitona laborada aumentou com algum significado a partir de 2000. Isto verifica-se pela possível tendência de redução do número de lagares, mas melhor dimensionados e equipados, distinguindo-se os industriais que tiveram uma quebra em cerca de 58% neste intervalo de tempo. Assim, os lagares são equiparados a pólos de recepção de azeitona proveniente de vários produtores da zona, centralizando desta forma a produção de azeite.

Com o encerramento dos lagares e com a modernização de uns ou construção de outros de raiz, os problemas ambientais decorrentes da descarga das águas ruças levaram à procura de novas tecnologias de produção de azeite.

Como se observa na Figura 6.13, houve uma quebra significativa nos lagares tradicionais em laboração desde 1995. Estes dominavam na altura em 88% do total nacional, mas apesar da redução drástica, ainda é o processo de extracção com maior expressividade. Com as referidas preocupações ambientais, a instalação de processos de extracção de duas fases (o qual permite reduzir substancialmente o volume de efluente produzido) tem crescido gradualmente, como a figura indica. Este processo engloba 33% a nível nacional, estando instalado neste último período em 178 lagares.





**Figura 6.13: Evolução do número de lagares em exploração por sistema de extracção ao longo do tempo (1995 - 2010)**  
Adaptado de INE (2012)

Na Tabela 6.2 apresenta-se o número de lagares no activo nas Regiões Agrárias bem como o total em Portugal Continental, nos anos de 1995 e 2010.

**Tabela 6.2: Número de lagares em exploração por Região Agrária (1995 e 2010)**

	Total		Tradicional		Contínuo 2 fases		Contínuo 3 fases	
	N.º		N.º		N.º		N.º	
	1995	2010	1995	2010	1995	2010	1995	2010
Portugal	1.125	539	991	237	63	178	57	124
Entre Douro e Minho	40	16	33	10	2	3	3	3
Trás-os-Montes	239	120	217	36	14	65	7	19
Beira Litoral	193	87	175	36	9	21	6	30
Beira Interior	282	144	258	97	9	20	10	27
Ribatejo e Oeste	231	85	221	46	2	14	6	25
Alentejo	120	80	80	11	21	53	18	16
Algarve	20	7	7	1	6	2	7	4

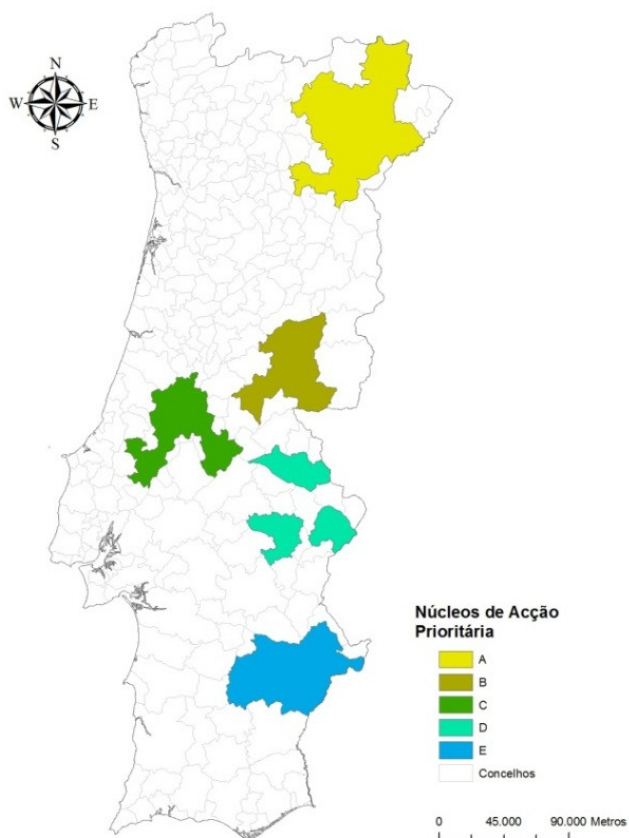
Adaptado de INE (2012)

Em termos de número de lagares no activo com processos de duas fases, as regiões de Trás-os-Montes e do Alentejo são as duas regiões que dominam a nível nacional, com 65 e 53 lagares, respectivamente (ver Tabela 6.2). Em termos de evolução percentual, as regiões de Trás-os-Montes e a do Ribatejo e Oeste foram as que mais diferem entre o primeiro e o último ano considerados, aumentando em 364% e 600%, respectivamente.

Segundo MAOTDR (2007), estão identificadas as regiões de elevada concentração territorial de unidades produtivas de sectores específicos, resultado de décadas de um deficiente ordenamento do

território que o agravaram e potenciaram, cujo impacto tem conduzido a situações de elevado risco ambiental. Assim, foram reconhecidos os concelhos e as regiões de maior pressão e então definidos 5 Núcleos de Acção Prioritária para cada sector, como ilustra a Figura 6.14, sendo que para o lagareiro se consideraram os seguintes critérios:

- Quantidade de azeitona laborada;
- Número de unidades a laborar por concelho;
- Dimensão e características dos lagares;
- Proximidade física das várias unidades consideradas dos concelhos abrangidos;
- Pressão exercida no solo e nos recursos hídricos.



**Figura 6.14: Núcleos de Acção Prioritária para o sector lagareiro**  
**Adaptado de MAOTDR (2007)**

O destino das águas ruças em cada núcleo é o seguinte (MAOTDR 2007):

- **Núcleo A** - Identificação, na informação ambiental, de cerca de 50% das unidades. Na maioria dos casos a informação fornecida indica que a grande parte das unidades possui ligação ao sistema de drenagem municipal e que cerca de 46% das unidades realiza tratamento ou pré-tratamento das águas ruças;
- **Núcleo B** - Identificação de cerca de 70% das unidades que de acordo com a informação fornecida, na sua maioria procedem ao espalhamento dos seus efluentes em solos agrícolas, e apenas cerca de 15% possui ligação ao colector municipal;
- **Núcleo C** – Identificação de cerca de 70% das unidades que, de acordo com a informação fornecida, na sua maioria procedem ao espalhamento dos seus efluentes em solos agrícolas, e apenas cerca de 12% possui ligação ao colector municipal;
- **Núcleo D** – Identificação de praticamente todas as unidades que laboraram, sendo que a informação fornecida indica que a maioria das unidades possui ligação ao colector municipal;
- **Núcleo E** – Identificação de praticamente todas as unidades que laboraram, sendo que a informação fornecida indica que a maioria das unidades rejeita os seus efluentes na linha de água.

### 6.3. **Análise do sector em Portugal**

Depois de ter apresentado níveis de auto-aprovisionamento acima dos 100% nas décadas de 50 e 60, o sector do azeite viu reduzida a sua auto-suficiência. Portugal não é actualmente auto-suficiente pois a produção de azeite é inferior face aos consumos. Assim sendo, há que importar (sendo 95% de origem espanhola), não só para consumo nacional mas para produção de azeites de melhor qualidade. Ao importar-se azeite de qualidade e valor inferior ao azeite nacional, este é misturado com azeite português de forma a aumentar a sua qualidade e exportado por valores mais elevados. Em 2008, Portugal atingiu os 126,5 milhões de euros provenientes da exportação de azeite, representando 0,4% do peso das exportações nacionais (Santos 2011).

O consumo de azeite tem vindo a aumentar a nível mundial, sendo uma boa aposta para as exportações nacionais. Com a implantação de novos olivais nos últimos anos, prevê-se um aumento da produção oleícola, caminhando-se a bom passo para a auto-suficiência (OMIAA 2010).

Assiste-se a uma maior dinâmica empresarial no sector do azeite, no que diz respeito não só ao olival mas também à evolução no processo de produção de azeite.

Desta forma e segundo MADRP (2007), o sector torna-se mais activo financeiramente, podendo registar-se melhorias nos seguintes áreas:

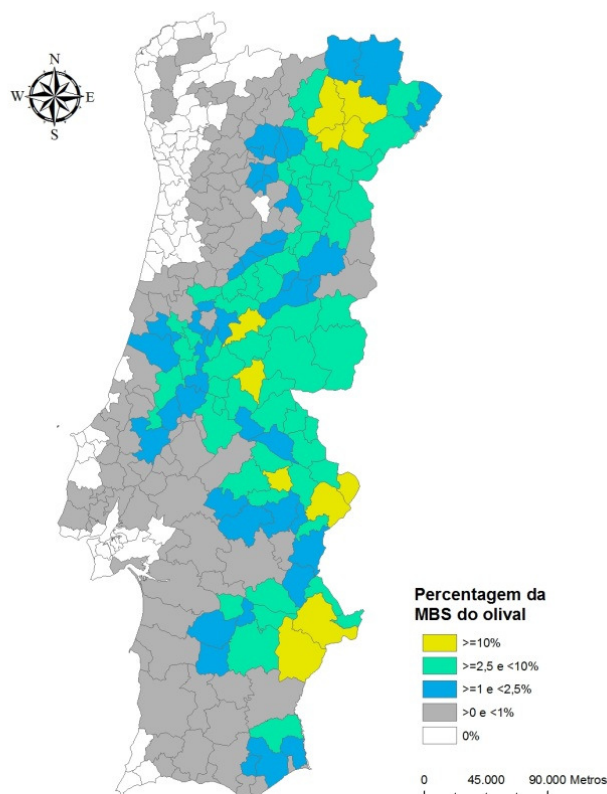
- Instalação de novas plantações com densidades superiores e com sistemas adequados de rega, ao abrigo dos programas comunitários, proporcionando maiores produtividades;
- Aumento do regadio no olival para azeite nas novas plantações, com aplicação de sistema de rega gota a gota;
- Arranque e reestruturação de alguns olivais degradados.

Em 2007, o índice de preços dos produtos agrícolas registou uma variação de 4,9%, em relação a 2006. Tal subida ficou a dever-se às variações positivas, tanto no índice de preços da produção animal (+4,6%) como no índice de preços da produção vegetal (+5,0%), apesar das variações negativas observadas no azeite (-21,8%). Em 2008, a produção de azeite rondou os 80,7 milhões de euros, o que levou a ter um peso no valor acrescentado bruto (VAB) da indústria transformadora de 0,08% e a um o peso do emprego na indústria transformadora de 0,15%. Portugal posiciona-se como 5º principal fornecedor mundial com uma quota de 3,5%. No seu principal mercado cliente, o Brasil, posiciona-se como principal fornecedor com uma quota de 55,4% (Santos, 2011).

Nos sete primeiros meses do ano de 2011, o Brasil importou 429,9 milhões de dólares (cerca de 340 milhões de euros) em produtos portugueses, caracterizando-se por um aumento de 50,6% face igual período de 2010. Em volume, a subida foi de 82,9 por cento, para 343.538 toneladas. O mercado brasileiro representa actualmente 56% do total das exportações portuguesas de azeite, ou seja, 110 milhões de euros, a que se dedicam cerca de 50 das mais conhecidas empresas nacionais.

Portugal conseguiu em 2010 que a sua balança comercial para o sector do azeite fosse positiva, contrariamente ao que acontecia desde as décadas de 50 e 60. O grande aumento na produção nacional de azeite e o facto de o Brasil ter reforçado o seu lugar como primeiro consumidor do azeite português são os dois principais factores para tal. As exportações de azeite cresceram cerca de 20% ao ano desde 2006 e as exportações quase duplicaram (Santos 2011).

Os Concelhos de Moura, Serpa, Campo Maior, Elvas, Fronteira, Proença-a-Nova, Pampilhosa da Serra, Macedo de Cavaleiros, Mirandela, Vila Flor e Alfândega da Fé foram os concelhos que apresentaram maior MBS em 2007, como se apresenta na Figura 6.15.



**Figura 6.15: Percentagem de Margem Bruta Standard por concelho em 2007**  
Adaptado de MADRP (2007)

Avaliando o parâmetro Unidade de Dimensão Europeia (UDE) a nível das Regiões Agrárias, evidencia-se o seguinte (MADRP 2007):

- **Trás-os-Montes** – 41,3 % das explorações com olival são muito pequenas (com MBS até 2 UDE), detendo 14,6 % da superfície da cultura. A área de olival predomina na classe de 4 e 8 UDE (4.800 a 9.600 € de MBS) e apresenta uma área média de olival por exploração de 2,43 ha;
- **Beira Litoral** - 65,5% das explorações com olival são muito pequenas (com MBS até 2 UDE), representando 49,8% da superfície da cultura, e apresentando uma área média de olival por exploração de 0,59 ha. Entre 2 e 4 UDE situam-se 22,5% das explorações e 26% da área de olival;
- **Beira Interior** - 50% das explorações com ocupação olival inscrevem-se na classe de mais de 40 UDE, concentrando em termos de área 15,2% do total de olival na região e apresentando uma área média de olival de 27,51 ha por exploração. A maior fatia da área de olival, 37,5%, pertence a explorações muito pequenas (até 2 UDE), que representam 70.8% do total de explorações com olival;

- **Ribatejo e Oeste** - 42,8% das explorações com olival são muito pequenas (até 2 UDE), mas cobrem apenas 15,9% da área de olival. As classes dominantes em termos de ocupação com olival são as de 2 a 4 UDE (17,9%), de 4 a 8 UDE (18,9%) e mais de 40 UDE, concentrando neste último caso 22,4 % da área de olival da região e apresentando uma área média de olival por exploração de 17,09 ha;
- **Alentejo** - 53,7 % das explorações com olival são muito pequenas (até 2 UDE), ainda que representem apenas 14,5 % da área de olival. As classes dominantes em termos de ocupação com olival são as de mais de 40 UDE (36,6 %) e de 16 a 40 UDE (17,8%), que apresentam uma área média de olival por exploração de, respectivamente, 35,94 e 14,93 ha;
- **Algarve** – Uma vez que esta região valores de produção reduzidos, a sua dimensão económica não é muito relevante, não estando talvez por isso descrita na ENEAPAI.

**Unidade de Dimensão Europeia (UDE)** - Medida de dimensão económica da exploração agrícola que se obtém dividindo a margem bruta padrão da exploração por um número fixo de Euros (1UDE = 1.200€). A classificação de uma exploração agrícola numa classe de DE tem como base a respectiva Margem Bruta Standard (MBS). A MBS é medida em Unidades de Dimensão Europeia (UDE), correspondendo 1 UDE a 1.200€. As classes de Dimensão Económica consideradas correspondem aos seguintes intervalos de MBS: muito pequenas – menos de 4 UDE; Pequenas – 4 a 16 UDE; Médias – 16 a 40 UDE; Grandes – mais de 40 UDE.

**Margem Bruta Standard ou Margem Bruta Padrão (MBS)** - A margem bruta padrão de cada actividade consiste, para um dado ano, ao valor monetário da produção agrícola bruta, deduzido dos principais custos específicos proporcionais correspondentes à produção em questão. Esta margem não é obtida para cada exploração em concreto mas com base em valores médios, numa dada região, representativos do sistema de produção associado à actividade em causa, utilizando determinada tecnologia de produção.

## 7. IMPACTE DA ÁGUA RUÇA NOS RECURSOS HÍDRICOS

---

O processo de produção de azeite gera cerca de 50% de água ruça, 30% de resíduos sólidos e os restantes 20% de azeite. A composição típica por peso é de 83 a 94% de água, 4 a 16% de compostos orgânicos e 0,4 a 2,5% de sais minerais. O poder poluente das águas ruças é atribuído à elevada carga atribuída à presença de lípidos, açúcares, ácidos orgânicos, taninos, pectinas e lenhina, à elevada concentração de compostos fenólicos bem como de magnésio, potássio e sais fosfatados (Vlyssides, et al., 1998; De Marco, et al., 2007; Davies, et al., 2004).

Os principais impactes da descarga de águas ruças nas massas de água superficiais estão relacionados com a sua concentração, composição e sazonalidade característica. A coloração induzida ao meio receptor é atribuída à oxidação e a subsequente polimerização dos taninos e aos compostos fenólicos de baixo peso molecular. Os efeitos negativos da sua descarga nos recursos naturais, sem qualquer tipo de tratamento, são devidos aos teores elevados de matéria orgânica e de compostos alelopáticos. São águas residuais de difícil biodegradabilidade e de elevado poder contaminante. As alterações ecológicas que produzem nos cursos de água são inúmeras, incluindo a acidificação, o elevado consumo de oxigénio, alteração da cor e redução da transparência da massa de água (Hamdi 1993).

Por forma a contribuírem para o conhecimento das consequências da descarga de águas ruças no meio aquático, Karaouzas, et al. (2011) avaliaram o seu efeito à escala espacial e temporal em populações de macroinvertebrados e nos respectivos ecossistemas presentes em massas de água lênticas e lóticas. As elevadas concentrações de nutrientes, açúcares e compostos orgânicos nas águas ruças são um óptimo meio para a multiplicação de microrganismos com a consequência de degradarem a qualidade da água. Ao formar-se assim uma camada superficial oleosa no leito do rio, principalmente devido à presença de lípidos, a fauna existente fica retida nesta, acabando muitas vezes por morrer devido à falha múltipla de órgãos vitais. Os autores observaram que o impacte nas comunidades bentónicas depende da duração, intensidade e proximidade da fonte poluidora. Uma vez que se trata de uma indústria sazonal, as comunidades tem a capacidade de recuperarem, sempre em função dos referidos factores.

Não é pelo facto de conseguirem recuperar, que esta constitui uma solução viável. Uma vez que as descargas são geralmente efectuadas em ramais de ligação ao troço principal do rio ( $< 10\text{km}^2$ ), e pelo facto de não serem abrangidos pela Directiva Quadro da Água 2000/60/CE, esta atitude não é muitas vezes punida pela lei. Isto é algo que se deve ter em conta e ser mudado, uma vez que a contaminação a montante, obviamente vai-se repercutir a jusante. A água é um recurso natural que

o homem utiliza em seu benefício para diversos fins como consumo humano, consumo industrial, irrigação ou produção de energia hidroeléctrica. Há que evitar estas situações, na medida em que a descarga destes efluentes deve ser efectuada em condições que permitam a manutenção de um equilíbrio ecológico satisfatório no meio receptor e não em condições que possam provocar uma degradação irremediável do ambiente. Por forma a evitar esta última situação há que primeiro actuar na origem, impedindo ou limitando a poluição das águas utilizadas, o que obriga normalmente a submeter as águas ruças a um tratamento antes da sua descarga, remetendo para a natureza o ónus de complementar essa depuração de acordo com as possibilidades auto-depuradoras do meio receptor.



## 8. QUADRO LEGISLATIVO

---

### 8.1. Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-Pecuários e Agro-Industriais

A Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-Pecuários e Agro-Industriais (ENEAPAI) tem como base a definição de uma estratégia sustentável, enquadrada no Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN) 2007-2013, para os diversos sectores da produção agro-pecuária e agro-industrial. Esta pretende integrar as especificidades e características de cada sector produtivo, dos efluentes por eles produzidos e das regiões onde se inserem, localizadas em Portugal Continental (MAOTDR 2007).

Para a elaboração de uma proposta de estratégia foi realizado um levantamento das situações mais gravosas, com o envolvimento das associações de produtores, dos municípios e das suas associações e das entidades gestoras de sistemas municipais e multimunicipais com responsabilidade no tratamento de águas residuais urbanas, de modo a tornar possível a concepção de soluções integradas e sustentáveis para a intervenção e a resolução dos problemas ambientais causados pela actividade normal dos sectores em causa.

Desta forma, as soluções a desenvolver deverão ser suportadas pelas seguintes orientações:

- Adopção de um modelo institucional para a concepção, construção, gestão e exploração das soluções de valorização e de tratamento de efluentes, através de entidades com reconhecida capacidade técnica, que garantam o bom funcionamento das instalações e o controlo das descargas;
- Adopção de soluções colectivas para o tratamento dos efluentes, quando tal se revelar a solução técnica, económica e ambientalmente mais adequada;
- Aplicação de uma tarifa de tratamento ao utilizador que tenha em conta a capacidade económica dos sectores em causa, através da escolha da melhor solução técnica e que seja também a melhor solução em termos económicos, reflectindo um modelo de gestão e exploração optimizado;
- Garantia da responsabilidade e do envolvimento dos sectores económicos.

## **8.2. Despacho Conjunto n.º 626/2000, de 6 de Junho**

Considerando um conjunto de medidas necessárias à efectiva modernização e adaptação ambiental do sector dos lagares de azeite, o presente despacho autoriza a aplicação de águas ruças na rega de solos agrícolas. Desta forma, os produtores têm uma solução de destino para os seus efluentes sem grandes encargos económicos, valorizando um recurso considerado problemático.

A utilização de águas russas na rega de solos agrícolas está condicionada pela emissão de uma licença pela Direcção Regional do Ambiente. O responsável pelo lagar terá pedir a referida licença e respeitar os seguintes condicionalismos:

- Existência de um reservatório com capacidade de armazenamento da totalidade das águas ruças produzidas durante a campanha;
- Recorrência a um pré-tratamento para correcção do pH;
- A aplicação da água ruça no solo deve ser efectuada entre Março e Novembro, em culturas arbustivas ou arbóreas, não excedendo anualmente em 80m<sup>3</sup>/ha.

A proibição da sua aplicação ocorre quando a superfície a regar está:

- Em terrenos pertencentes à Rede Ecológica Nacional (REN), áreas protegidas e sítios de interesse científico, natural ou ambiental;
- Distâncias inferiores a 35m de linhas de água;
- Distâncias inferiores a 50m de habitações isoladas;
- Distâncias inferiores a 100m de poços ou furos que se destinem a consumo humano e do NPA de albufeiras de águas públicas;
- Distâncias inferiores a 200m de aglomerados populacionais.

## **8.3. Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de Outubro**

O Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de Outubro transpõe a Directiva 2006/118/CE de 12 de Dezembro, relativa à protecção das águas subterrâneas contra a poluição e a sua deterioração. A aplicação das águas ruças na prática agrícola ou a sua disposição em lagoas de evaporação podem levar á contaminação dos solos e consequentemente à das águas subterrâneas.

O presente decreto visa implementar medidas de prevenção e controlo da poluição da água subterrânea, incluindo critérios para a avaliação do seu bom estado químico para a identificação de tendências significativas e persistentes para o aumento da concentração de poluentes, bem como para a definição de pontos de partida para a inversão dessas tendências.

## 8.4. Regulamentos de Descarga de Águas Residuais Industriais na Rede Pública de Drenagem

Os regulamentos municipais de descarga são documentos que regulam a descarga de efluentes nos colectores municipais, sendo cada qual adaptado à realidade do respectivo município. Os efluentes passíveis de serem lançados nas redes públicas, devem respeitar determinados condicionalismos, de modo a garantir que os órgãos que constituem o sistema de tratamento não sejam afectados, assim como salvaguardada a protecção do pessoal envolvido nas operações.

Para efeitos dos regulamentos municipais de descarga na rede pública, consideram-se efluentes industriais:

- Os resultantes do exercício de uma actividade industrial, de acordo com a Classificação das Actividades Económicas (CAE);
- Os resultantes do exercício de qualquer outra actividade que, pela natureza desta, sejam susceptíveis de exceder os valores máximos dos parâmetros estabelecidos nos Regulamentos de Descarga de Águas Residuais Industriais na Rede Pública de Drenagem.

Segundo a CAE, a delimitação de cada actividade económica obedeceu a vários critérios. Os principais critérios adoptados na estruturação das actividades foram o processo tecnológico, a natureza da matéria-prima, o produto obtido e o serviço prestado. Os lagares estão classificados através do seguinte código (INE\* 2007):

- **Divisão: 10** – Indústrias Alimentares;
- **Grupo: 104** - Produção de óleos e gorduras animais e vegetais;
- **Classe: 1041** - Produção de óleos e gorduras;
- **Subclasse: 10412** - Produção de azeite.

Cada regulamento deverá nomear os parâmetros característicos datados dos respectivos valores máximos de admissão, para que os efluentes industriais sejam admitidos na rede de colectores. Para além destes estão descritas todas as substâncias que sejam proibidas, independentemente das respectivas concentrações. Como exemplo, a Tabela 8.1 apresenta alguns dos parâmetros presentes no Regulamento Municipal de Descargas de Águas Residuais Industriais de Santarém, município do Núcleo de Acção Prioritária C, seleccionados de acordo com os constituintes característicos das águas ruças.

**Tabela 8.1: Valores Limite de Descarga (VLD) presentes no Regulamento Municipal de Descargas de Águas Residuais Industriais do Município de Santarém**

Parâmetro	Unidade	VLD
pH	Escala de Sorensen	5,5 - 9,5
CBO	mgO <sub>2</sub> /L	300
CQO	mgO <sub>2</sub> /L	700
SST	mg/L	500
Óleos e gorduras	mg/L	50
Fenóis	mg/L	0,5
N-NH <sub>4</sub>	mg/L	50

Um dos efeitos negativos da descarga de água ruça sem qualquer tratamento na rede pública de drenagem está relacionada com a acidez característica e pela presença de sólidos suspensos. Devido à presença de ácidos orgânicos, nomeadamente de AGV, as águas ruças são muito corrosivas quando em contacto com os colectores.

### 8.5. Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto

A água-ruça possui um alto poder contaminante devido à sua elevada carga orgânica e altos teores em sólidos dissolvidos e em suspensão, que superam os valores limites de emissão (VLE) constantes das normas de descarga de águas residuais, na água e no solo, estabelecidas Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto.

Desta forma, os Regulamentos de Descarga de Águas Residuais Industriais na Rede Pública de Drenagem definem e estabelecem as regras e condições de descarga de águas residuais de natureza industrial na rede de colectores municipais, dando assim cumprimento ao disposto no presente decreto. Este último tem como principal objectivo o estabelecimento de normas, critérios e objectivos de qualidade, com o objectivo de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.

Ao comparar-se os VLE que se apresentam na tabela seguinte e os valores dos mesmos parâmetros presentes na Tabela 8.1, constata-se que as características quantitativas das águas ruças excedem em muito os estabelecidos pelo decreto, sendo então crucial um pré-tratamento antes de sua descarga nas redes municipais.

**Tabela 8.2: Valores limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais presentes no Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto**

Parâmetro	Unidade	VLE
pH	Escala de Sorensen	6 - 9
SST	mg/l	60
CBO5	mg/l	40
CQO	mg/l	150
Óleos e gorduras	mg/l	15
N total	mg/l	15
P total	mg/l	10
Fenóis	mg/l	0,5
Coloração	-	Não visível na diluição 1:20

## 8.6. Legislação aplicada à valorização energética do biogás

Perante a possibilidade e relevância da valorização energética das águas ruças, e considerando o exercício desenvolvido mais adiante nesta dissertação, fez-se uma pequena revisão da legislação neste contexto.

A elaboração do Decreto-Lei nº 189/88, de 27 de Maio, contemplando a definição do Estatuto do Auto-Produtor, promoveu pela primeira vez em Portugal a produção independente de energia eléctrica a partir de recursos renováveis, combustíveis nacionais, resíduos industriais, agrícolas ou urbanos e co-geração.

Em 1999, procedeu-se à revisão da regulamentação da produção em regime especial, distinguindo as actividades de produção de energia eléctrica a partir de recursos renováveis ou resíduos industriais, agrícolas ou urbanos – no Decreto-Lei 168/99, de 18 de Maio – e as actividades de co-geração – no Decreto-Lei nº 538/99.

O tarifário de venda de energia de origem renovável à rede pública foi primeiramente actualizado pelo Decreto-Lei 339-C/2001 e, mais tarde, pelo Decreto-Lei 33-A/2005. O objectivo desta última actualização estava relacionado com a garantia da recuperação e retorno em tempo útil dos investimentos efectuados pelos produtores. No entanto, este Decreto-Lei considerava apenas o aproveitamento de biogás na vertente de gás de aterro, levando à criação do decreto-Lei 225/2007 que passa a contemplar a produção de biogás através do tratamento biológico de efluentes agro-pecuários e agro-industriais, da fracção orgânica de RSU e de lamas de ETAR, assim como actualiza os critérios de remuneração do aproveitamento do biogás.

A ligação à rede do sistema eléctrico de abastecimento público implica um conjunto de procedimentos a realizar junto da Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG 2012).



## 9. CARACTERIZAÇÃO DOS SUBPRODUTOS

Os principais subprodutos originários do processo de extracção do azeite apresentam características que exigem uma gestão apropriada. A ramagem e folhas separadas na fase de limpeza da azeitona também se englobam na categoria de subprodutos desta indústria. No entanto, os mais importantes do ponto de vista ambiental são aqueles que derivam directamente da extracção do azeite, nomeadamente a água ruça e o bagaço de azeitona.

A terminologia empregue para denominar os resíduos produzidos nos lagares de azeite depende de uma multiplicidade de factores, sendo o principal o geográfico. A Tabela 9.1 apresenta os resíduos da indústria de extracção de azeite, traduzidos nos principais idiomas encontrados na revisão bibliográfica (CAR/PP 2000).

**Tabela 9.1: Terminologia empregue em vários países para designar resíduos produzidos nos lagares**

Resíduo	País	Sistema de extracção	
		Prensa e 3 Fases	2 Fases
Líquido	Espanha	Alpechín	
	França	Margine	
	Grécia	Katsigaros	
	Inglaterra/EUA	Olive mill wastewater	
	Itália	Aque di vegetazione	
	Portugal	Água ruça	
Sólido	Espanha	Orujo	Alperujo
	França	Grignon	Grignon humide
	Grécia	Pirina	
	Inglaterra/EUA	Olive cake	Wet olive cake
	Itália	Sansa	Sansa humida
	Portugal	Bagaço	Bagaço húmido

Adaptado de CAR/PP (2000)

Os subprodutos líquidos são gerados em vários pontos da linha de produção, e ao conjunto destes dá-se o nome de água ruça. Os efluentes produzidos na linha de produção incluem:

- Água de lavagem da azeitona (etapa de limpeza);
- Água de vegetação (intrínseca à azeitona);
- Água adicionada ao processo (etapas de malaxagem e extracção);
- Água de limpeza dos equipamentos.

Os subprodutos sólidos são os seguintes:

- Matéria vegetal e mineral (etapa de limpeza);
- Bagaço convencional (etapa de extracção por prensas ou *decanter*s de três fases);
- Bagaço húmido (etapa de extracção por *decanter*s de duas fases).

Uma vez que a quantidade dos subprodutos, a água e a energia necessárias variam bastante consoante o processo de extracção utilizado, na Tabela 9.2 apresentam-se os *inputs* necessários e os *outputs* obtidos a partir da laboração de 1000 kg de azeitona, diferenciando os diferentes processos de extracção.

**Tabela 9.2: Principais *inputs* e *outputs* da linha de produção nos diferentes processos de extracção de azeite**

Processo	Input		Output	
Prensa tradicional	Azeitona	1000 kg	Azeite	200 kg
	Água de lavagem	0,1 - 0,12 m <sup>3</sup>	Bagaço (25% água+6% azeite)	400 kg
	Energia	40 - 63 kW.h	Água ruça (88% água)	600 kg
<i>Decanter</i> 3 fases	Azeitona	1000 kg	Azeite	200 kg
	Água de lavagem	0,1 0,12 m <sup>3</sup>	Bagaço (50% água+4% azeite)	500 - 600 kg
	Água adicionada ao decanter	0,5 - 1 m <sup>3</sup>	Água ruça (94% água+1% azeite)	1000 - 1200 kg
	Água para limpeza do azeite	0,01 m <sup>3</sup>		
	Energia	90 - 117 kw		
<i>Decanter</i> 2 fases	Azeitona	1000 kg	Azeite	200 kg
	Água de lavagem	0,1 - 0,12 m <sup>3</sup>	Bagaço (60% água+3% azeite)	800 - 950 kg
	Energia	< 90 - 117 kW.h		

Adaptado de UE (2000)

## 9.1. Águas ruças

No que respeita ao processo de extracção, a quantidade de água utilizada no lagar é muito variável, não só devido ao tipo de equipamento de extracção, mas também às diferentes técnicas operacionais seguidas pelos técnicos dos lagares.

Estas águas têm provocado graves problemas de poluição, principalmente pelas dificuldades que apresentam para se efectivar um tratamento economicamente acessível a uma indústria, que tem sido ao longo dos séculos muito artesanal. Estes são agravados devido ao elevado número e grande dispersão dos lagares e ao facto de se concentrarem de uma maneira geral em zonas de escassos recursos hídricos, como é característico do interior do país, em que o grau de diluição conferido pelas linhas de água é bastante reduzido. Apesar do período de laboração coincidir com a época de maior



pluviosidade (Setembro a Março), a ocorrência de anos secos agrava o problema (Carvalho 1987). A localização de um apreciável número de lagares em perímetros urbanos não é menos preocupante, uma vez que o seu encaminhamento para as estações de tratamento de águas residuais (ETAR) provoca uma alteração no funcionamento normal do sistema, dadas as características do efluente e o carácter sazonal da indústria.

De acordo a revisão bibliográfica efectuada, a composição qualitativa das águas ruças não varia muito mas observa-se uma grande variabilidade nos valores dos respectivos parâmetros, devido muito à interacção dos seguintes factores (Hatzinikolaou 2007):

- Composição do solo cultivado;
- Uso de fertilizantes e insecticidas;
- Condições climáticas durante o período de cultivo;
- Período de colheita;
- Nível de maturação da azeitona;
- Variedade da azeitona;
- Período temporal de armazenamento da azeitona;
- Método de extracção do azeite;
- Tempo de residência quando armazenada em tanques ou lagoas.

Todos estes factores fazem com que se verifique uma grande variabilidade na sua composição quantitativa, e portanto, o resultado da aplicação de metodologias específicas para a sua gestão é praticamente imprevisível. A gestão e utilização correcta deste resíduo é cada vez mais urgente devido à expansão da indústria e à preocupação ambiental, o que faz com que já existam inúmeros estudos com as mais variadas técnicas para depuração e reciclagem de substâncias presentes nas águas ruças.

Regra geral é um efluente ácido, de alta condutividade e de cor castanho avermelhada. Apresenta diversas substâncias dissolvidas e em suspensão, tendo em média 83 a 96% de água, 3,5 a 15% de matéria orgânica (gorduras, açúcares, substâncias azotadas, ácidos orgânicos, poliálcoois, pectinas, taninos e polifenóis) e 0,2 a 2,0% de sais (essencialmente constituídos por potássio, sódio, carbonatos e fosfatos) (IOC\* 1996). A revisão efectuada revela a existência de grande heterogeneidade relativamente à composição deste efluente, como se pode observar na Tabela 9.3 e 9.4.

**Tabela 9.3: Composição orgânica característica das águas ruças segundo vários autores**

Parâmetro	Unidade	1	2	3	4	5	6	7	8	Intervalo
pH	–	5,1	5,17	4,8	4,85	5,2	5,1	5,7	5,3	4,7 – 5,7
Condutividade	mS/cm	–	5,5	12	13 – 41	5	–	11	24	5 – 41
CQO	g O <sub>2</sub> /L	121,8	–	93	97 – 190	16,5	95	48	156	16,5 – 190
CBO <sub>5</sub>	g O <sub>2</sub> /L	–	–	46	–	–	–	–	–	41,3 – 46
Matéria seca	g/L	102,5	71,9	63,5	–	11,5	84,2	–	90	11,5 – 102,5
Matéria orgânica	g/L	81,6	46,5	–	–	–	–	26	–	16,7 – 81,6
Lípidos	g/L	9,8	3,1	1,64	–	–	–	–	7	1,64 – 9,8
Polifenóis	g/L	6,2	1,6	10,7	7 – 11,5	0,8	4,82	8,8	4,1	0,002 – 11,5
Açúcares	g/L	–	8,79	–	–	1,3	–	–	4,3	1,3 – 8,79
Ácidos orgânicos	g/L	1	–	–	–	–	–	–	–	0,78 – 1
N Total	g/L	0,95	0,63	0,76	–	0,06 – 0,3	–	0,9	–	0,06 – 0,95

**Adaptado de Zbakh, et al. (2012)**

1. (Andreozzi, Longo, et al. 1998)
2. (Paredes, et al. 1999)
3. (Vlyssides, Loizides e Karlis, Integrated strategic approach for reusing olive oil extraction by-products 2004)
4. (Ben-Sassi, et al. 2006)
5. (Paraskeva, et al. 2007)
6. (Asses, et al. 2009)
7. (Karpouzas, et al. 2010)
8. (El-Abbassi, Khayet e Hafidi 2011)

**Tabela 9.4: Composição inorgânica das águas ruças segundo vários autores.**

Parâmetros	Unidades	9	10	11	12	13	14	Intervalo
Pb <sup>2+</sup>	µg/L	–	–	–	6,7	10	–	6,7 – 10
Cd	µg/L	–	–	–	0,03	1	–	0,03 – 10
Fe <sup>2+</sup>	mg/L	0,45 – 0,6	–	65	–	8,88	20	0,45 – 20
Zn <sup>2+</sup>	mg/L	1,7 – 4	–	3,4	2,94	4,98	–	1,7 – 4,98
Cu <sup>2+</sup>	mg/L	0,49 – 0,84	–	2,4	–	2,96	–	0,49 – 2,96
Mn	mg/L	0,46 – 1,17	–	0,9	1,61	2,7	20	0,46 – 20
Mg <sup>2+</sup>	g/L	0,06 – 0,09	0,17	0,12	0,11	0,11	0,03	0,03 – 0,17
Ca <sup>2+</sup>	g/L	0,05 – 0,08	0,14	1,1	0,15	0,29	0,03	0,03 – 0,29
K <sup>+</sup>	g/L	–	1,05	6,1	4,22	0,73	3,47	0,73 – 6,1
Cl <sup>–</sup>	g/L	–	0,76	–	–	–	1	0,76 – 1
Na <sup>+</sup>	g/L	0,03	0,13	0,07	–	0,15	0,05	0,03 – 0,13

**Adaptado de Zbakh, et al. (2012)**

9. (Paraskeva, et al. 2007)
10. (Mahmoud, et al. 2010)
11. (Karpouzas, et al. 2010)
12. (Moraetis, et al. 2011)
13. (Danellakis, et al. 2011)
14. (Piotrowska, Rao, et al. 2011)

A presença de compostos fenólicos dificulta os processos biológicos de depuração devido à sua actividade anti-microbiana. A sua presença inibe os microrganismos patogénicos que atacam os frutos ou plantas, conferindo um poder tóxico para as bactérias que realizam a depuração das águas ruças. Estes compostos exercem igualmente uma actividade fitotóxica sobre a germinação da azeitona e são responsáveis pela coloração escura devido à sua capacidade de polimerizar a lenhina. A quantidade de polifenóis presente, os quais derivam de glucósidos fenólicos da polpa e do caroço da azeitona, depende em grande parte do procedimento seguido na obtenção do azeite. Durante a extracção do azeite, principalmente nas fases de moenda e extracção, estes glucósidos sofrem hidrólise química, devido á acidez e à acção das enzimas hidrolíticas que ficam em contacto com os seus substratos. A polifenoloxidase, muito abundante na polpa, oxida e polimeriza parte dos polifenóis presentes na água ruça, especialmente orto-difenóis (Carvalho 1987).

Em relação ao conteúdo inorgânico, este é constituído principalmente por metais, que se apresentam na Tabela 9.4. A contaminação por metais pode ocorrer durante a fase de cultivo e laboração da azeitona, desde o campo ao consumo, passando pela extracção do azeite até ao seu embalamento, afectando directamente a qualidade da água residual. Alguns metais, como ferro, cobre e zinco são essenciais na dieta de grande parte dos organismos, e o seu défice pode provocar efeitos crónicos ou agudos na saúde. No entanto, estes elementos têm a capacidade de provocar efeitos tóxicos dependendo da forma e quantidade em que se encontram, da dosagem ou da via de absorção entre inúmeros outros factores (Leung, et al. 2010).

Na Tabela 9.5 apresenta-se a média dos resultados dos parâmetros físicos, químicos e biológicos de várias amostras de água ruça de um lagar localizado no Nordeste de Portugal (Amaral, et al. 2008). Foram analisadas três amostras de água em três etapas do processo de laboração da azeitona (lavagem, extracção e final), durante as campanhas de 2003/2004 e de 2004/2005, e estimada a média dos resultados das três amostras para os parâmetros indicados na tabela.

Durante a primeira campanha, as amostras de água de lavagem da azeitona foram recolhidas imediatamente após a sua produção, e durante a segunda, as amostras foram recolhidas a partir do interior da máquina de lavagem, onde a água esteve armazenada durante períodos de tempo variáveis. De acordo com Niaounakis, et al. (2006), o armazenamento das águas de lavagem provoca alterações na composição destas. Dando-se fermentações aeróbias ou anaeróbias de vários compostos orgânicos, emissão de substâncias voláteis, aumento da acidez, precipitação de sólidos suspensos. Esta pode ser uma causa dos valores mais díspares que se encontram na tabela, como os fenóis totais, mas não se pode deixar de considerar todos os factores que potenciam a variabilidade da composição das águas ruças que foram referidos anteriormente.

**Tabela 9.5: Valores médios de parâmetros físicos, químicos e biológicos de várias amostras de água ruça de um lagar localizado no Nordeste de Portugal**

Parâmetros	Unidades	Campanha 2003/04			Campanha 2004/05		
		Lavagem	Extracção	Água Ruça	Lavagem	Extracção	Água Ruça
pH	Escala de Sorensen	6,60	5,55	5,20	6,07	6,07	5,53
CBO	g O <sub>2</sub> /L	0,35	0,57	1,33	0,35	1,75	8,75
CQO	g O <sub>2</sub> /L	1,09	32,69	14,71	1,87	11,46	48,56
ST	g/L	0,73	21,12	5,17	0,72	15,48	14,72
Óleos e gorduras	g/L	6,71	24,57	6,00	2,77	21,32	31,33
Fenóis totais	mg ácido cafeico/L	8,57	34,60	36,00	1002,67	883,00	999,67
N Kjeldahl	mg/L	4,77	71,50	51,77	10,77	34,07	152,57
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,04	0,26	0,16	0,20	0,28	0,28
N-NH <sub>3</sub>	mg/L	0,84	1,11	1,11	0,94	1,39	3,10
N orgânico	mg/L	3,93	70,40	50,66	9,83	32,68	149,47
P	mg/L	2,20	53,43	31,90	4,50	18,20	107,33
K	g/L	0,04	0,68	0,41	0,13	0,21	1,46
Temperatura	°C	11,83	22,65	26,37	9,33	28,47	24,57
OD	mgO <sub>2</sub> /L	6,03	7,90	1,50	7,60	6,03	1,50
COD	gC/L	0,22	5,07	3,26	0,65	1,81	12,08

Adaptado de Amaral, et al. (2008)

## 9.2. Bagaço de azeitona

O bagaço de azeitona, ao ser separado da fase líquida, ainda contém uma quantidade de azeite residual que não é possível extrair por meios físicos. Este é extraído geralmente em instalações de extracção de óleo de bagaço de azeitona, com o fim de produzir um azeite apelidado de segunda categoria ou extractado. Assim sendo, distinguem-se três tipos de bagaços de azeitona:

- Bagaço bruto ou virgem - subproduto sólido da primeira extracção do azeite, com teores elevados de água e de azeite;
- Bagaço extractado ou esgotado - subproduto obtido após extracção do óleo de bagaço de azeitona, geralmente com um solvente orgânico como o hexano;
- Bagaço descaroçado – resultante da separação parcial do caroço da polpa, por depuração ou ventilação.

Existem igualmente três tipos de bagaço bruto que podem ser considerados, mas consoante o sistema de extracção utilizado:

- Bagaço convencional obtido por sistemas de extracção de prensa;
- Bagaço convencional obtido por sistemas de extracção contínuos com separação centrífuga de três fases;
- Bagaço húmido obtido por sistemas de extracção contínuos com separação centrífuga de duas fases.

Na Tabela 9.6 apresentam-se as características dos diferentes tipos de bagaço consoante o processo de extracção utilizado bem como do bagaço extractado.

**Tabela 9.6: Composição média do bagaço de azeitona por método de extracção e do bagaço extractado**

Parâmetro	Unidade	Sistema de prensa	Contínuo de 3 fases	Contínuo de 2 fases	Bagaço extractado
Humidade	%	35	65	75	10
Azeite residual	%	8	5	3	1
Matéria mineral	%	40	40	40	50
Poder calorífico	kcal/kg	<2000	<3000	<4000	4200

**Adaptado de Igor (2004)**

As principais diferenças nos vários tipos de bagaço são essencialmente devido ao seu conteúdo em água. O sistema de extracção de duas fases, designado de “sistema ecológico”, foi introduzido para permitir a separação do azeite sem adição de água ao *decanter* ou apenas com uma adição mínima para lavagem do azeite. Deste modo há uma importante redução nos consumos de água e na produção de água ruça em relação aos sistemas de prensa e três fases, mas por outro lado o bagaço é extremamente húmido, com teores de água a atingir os 75% (Igor 2004). Este bagaço ao incorporar as águas ruças, modificou a composição química e características físicas, em relação aos bagaços que

se obtinham nos outros dois sistemas, fazendo com que as exigências de segurança sejam maiores que para os bagaços convencionais.

As consequências deste aumento de humidade nos bagaços traduzem-se numa maior dificuldade no seu manuseamento e armazenamento, e num maior consumo de energia para a sua secagem. Os açúcares que se encontravam dissolvidos na água-ruça, ficam retidos no bagaço e as altas temperaturas dos secadores promovem a sua caramelização, dificultam a operação de secagem, podendo até certo ponto ocorrer risco de incêndio (Niaounakis e Halvadakis 2006). A sua manipulação e transporte são mais difíceis devido à sua pouca consistência, o que obriga a empregar camiões cisterna a fim de evitar possíveis transbordos.

Como consequência de todas estas alterações, o sector de extracção de óleo de bagaço deparou-se com grandes dificuldades para adaptar as suas instalações, nomeadamente nos seguintes aspectos:

- Aumento da capacidade de produção;
- Construção de tanques para armazenamento dos bagaços;
- Aumento da capacidade de secagem;
- Modificação do sistema de extracção.

Como subproduto de uma operação que tem como principal interesse a extracção do azeite, o bagaço de azeitona apresenta na sua constituição componentes que permitem valorizá-lo. Na Tabela 9.7 apresenta-se a composição média de um bagaço (CAR/PP 2000).

**Tabela 9.7: Composição média do bagaço de duas fases**

<b>Composição química</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valores</b>
Ácidos orgânicos	%	0,5 - 1
Açúcares	%	13 - 14
Cinzas	%	2 - 3
Fibra bruta	%	14 - 15
Gordura	%	3 - 4
Humidade	%	65
Poliálcoois	%	0,5 - 2
Polifenóis e glucósidos	%	0,5
Proteína	%	56
Densidade aparente	kg/m <sup>3</sup>	1035
Poder calorífico superior	kcal/kg	5052

**Adaptado de CAR/PP (2000)**

Certas instalações de extracção de bagaço que recebem os três tipos de bagaço de azeitona (provenientes de lagares de prensas, dos contínuos a 3 fases e dos contínuos a 2 fases) têm optado por homogeneizar o teor de humidade do bagaço a extrair, misturando os três tipos de bagaço até atingirem uma humidade da ordem dos 50% (CAR/PP 2000).

Ao fazer-se a extracção do azeite residual do bagaço bruto, o bagaço extractado pode ter várias utilizações:

- Alimentação animal;
- Fertilizante;
- Produção de carvão activado;
- Produção de furfural;
- Como combustível podendo atingir 3.200 a 3.800 Kcal/Kg;
- O caroço tem, ainda, a possibilidade de ser utilizado para polir determinadas superfícies metálicas ou na produção de carvão activado.





## 10. TRATAMENTO E VALORIZAÇÃO DAS ÁGUAS RUÇAS

---

Os resíduos dos lagares de azeite têm uma grande importância do ponto de vista ambiental, principalmente nos países da orla mediterrânica onde esta agro-indústria apresenta algum peso económico.

A evolução expansiva deste negócio levou a alterações na dimensão e estrutura dos lagares e a agregação de pequenas produtores, centralizando a produção em pólos industriais. A crescente preocupação ambiental associada a este tipo de resíduos, faz com que se avaliem a aplicabilidade de inúmeras técnicas ou processos de combate à poluição, não só no tratamento mas também na valorização de compostos presentes na água ruça. Ao serem uma possível fonte de reciclagem de compostos considerados valorizáveis, trazem uma complementaridade ao seu tratamento e dão um retorno económico a este sector.

Sempre com o objectivo de respeitar o meio ambiente ao evitar a degradação da qualidade dos recursos hídricos e terrestres, os países produtores de azeite adoptaram as mais variadas soluções na gestão das águas ruças, sendo inúmeras as possibilidades para o seu tratamento total ou apenas parcial, incluindo operações e processos:

- Físicos;
- Físico-químicos;
- Biológicos;
- Térmicos;
- Aplicação no solo

### 10.1. Processos físicos

#### 10.1.1. Sedimentação gravítica

A remoção de matéria suspensa e coloidal presente na água residual por separação gravítica é uma operação unitária bastante recorrida. Este é um fenómeno, natural ou forçado, da qual resultam duas fracções, uma sólida sedimentada e um clarificado, e é característico no tratamento de águas residuais nomeadamente em desarenadores, decantadores, espessadores e em operações de coagulação/floculação. Há então uma redução de matéria orgânica relativamente eficaz, já que uma fracção deste se apresenta na forma suspensa ou ligada aos sólidos suspensos da água residual.

Este método apresenta o inconveniente de ser relativamente lento e de requerer normalmente o uso de agentes floclulantes para acelerar o processo. Como tratamento de águas ruças não é por si só

completamente eficaz, podendo ser utilizado como pré-tratamento para diminuir o poder contaminante da água ruça bruta.

### **10.1.2. Centrifugação**

À medida que a água ruça é submetida a uma operação de centrifugação, vão-se formando três fases distintas: uma camada de óleo e gordura á superfície, uma fase aquosa contendo substâncias suspensas e dissolvidas e uma camada de sólidos que sedimentam no fundo.

O facto de se submeter a água ruça a uma centrifugação permite reciclar o azeite vestigial que é retirado à superfície. Segundo Mitrakas, el al. (1996), considerando que os pequenos lagares apresentam perdas de azeite na ordem dos 1 a 1,5%, ao optarem por este processo podem atingir um reaproveitamento de 0,3 a 0,75%. Outra vantagem desta operação é que, ao extrair-se a fase sólida sedimentada, a CQO remanescente na água baixa em cerca de 70%. Como a água ruça é um efluente que apresenta valores característicos da CQO bastante elevados, a restante CQO tem de ser reduzido posteriormente através outros processos de tratamento.

### **10.1.3. Flotação**

A flotação permite a remoção gorduras e óleos, através da injeção de ar pressurizado pelo fundo do reservatório que é alimentado pela água ruça. A injeção de ar provoca a diminuição da densidade das partículas relativamente à fase líquida, fazendo-as ascender a superfície. A principal vantagem desta operação sobre a sedimentação é o facto das partículas de baixa densidade serem removidas com maior eficácia num menor período de tempo, sendo por isso um processo vantajoso para este tipo de águas residuais. A aptidão das bolhas de ar para se fixarem sobre as partículas depende do diâmetro das bolhas devido a fenómenos de tensão superficial em que a curvatura da superfície é importante, mas também a hidrofobia da superfície das partículas. O ângulo de contacto mede a hidrofobia da superfície de um sólido, sendo a fixação mais elevada quando maior for o ângulo. O balanço entre a hidrofobia e a hidrofília de uma substância pode ser avaliado pelo ângulo de contacto desenvolvido entre as três fases expostas – sólida, líquida e gasosa – e este é influenciado pela rugosidade, heterogeneidade, tamanho e formato das partículas (Chau, et al. 2009)

É comum a adição de químicos no processo de flotação por forma a criar, à matéria que se pretende flotar, uma superfície que tenha maior capacidade de absorção das bolhas de ar. Para tal, usam-se geralmente químicos inorgânicos como sais de ferro ou alumínio ou até sílica activada (Coskun, Debik e Demir 2010).

De acordo com a revisão bibliográfica efectuada, poucos são os autores que dão ênfase a este tratamento, e os que dão fazem-no com recurso a sistemas de flotação por ar dissolvido (FAD). O ar pressurizado é injectado na água residual, seguido de uma libertação natural até atingir a pressão atmosférica, formando-se microbolhas que ascendem á superfície.

Mitrakas, el al. (1996) avaliaram a FAD como possível pré-tratamento da água ruça. Esta técnica foi considerada ineficaz devido à elevada concentração de sólidos suspensos, que faz com que o rácio ar/sólidos deva ser da ordem de 0,005 e 0,006. Esta prática permite uma remoção de gordura relativamente baixa (cerca de 30%) aliada a consumos energéticos elevados, concluindo que a sua aplicação em águas ruças não é viável (Niaounakis e Halvadakis 2006).

#### 10.1.4. Filtração por membranas

A filtração por membranas envolve a separação de matéria particulada ou coloidal, chamado de concentrado, do líquido, o permeado. É uma operação que utiliza uma barreira física, a membrana, que em função da sua porosidade permite a passagem de certas substâncias e retém aquelas cujo diâmetro é superior ao do poro. Na Tabela 10.1 apresentam-se vários tipos de processos de filtração por membranas – microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose inversa (OI) -, as respectivas características e a composição do concentrado.

**Tabela 10.1: Características gerais dos processos de filtração por membranas**

Tipo de filtração	Força motriz	Mecanismo de separação	Porosidade (nm)	Gama de Operação (nm)	Concentrado
MF	Diferença da pressão hidrostática	Exclusão	Macroporos (>50)	80 - 2000	Sólidos em suspensão, bactérias e vírus
UF	Diferença da pressão hidrostática	Exclusão	Mesoporos (2 - 50)	5 - 200	Sólidos em suspensão, bactérias, vírus e compostos orgânicos de elevado peso molecular
NF	Diferença da pressão hidrostática	Porosidade + solução/difusão + exclusão	Microporos (<2)	1 - 10	Compostos orgânicos de baixo peso molecular e iões bivalentes dissolvidos
OI	Diferença da pressão hidrostática	Solução/difusão + exclusão	Microporos (<2)	0,1 - 10	Espécies de baixo peso molecular

Adaptado de Metcalf&Eddy (2004)

Esta tecnologia já é muito utilizada no tratamento de águas de abastecimento sendo utilizada cada vez mais no tratamento de águas residuais, já que é uma tecnologia cujos custos de instalação têm decrescido e a sua eficiência na remoção de substâncias da água é bastante elevada.

A micro e ultrafiltração são geralmente utilizadas como tratamento primário enquanto que a nanofiltração e a osmose inversa como tratamento final. As duas últimas têm a capacidade de reter substâncias de baixo peso molecular que podem ser recuperadas e utilizadas noutras indústrias (Coskun, Debik e Demir 2010). A nanofiltração não é tão eficiente como a osmose inversa, mas por outro lado não requer tanta energia já que funciona a pressões mais baixas.

Coskun, et al. (2010) estudaram a sua aplicação no tratamento de águas ruças, nomeadamente por ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa. O efluente, originário de um lagar com sistema de extracção contínuo, foi previamente centrifugado durante 30 minutos e sujeito à passagem por um filtro de porosidade 10  $\mu\text{m}$ , de modo a eliminar as substâncias de maiores dimensões. As pressões definidas nos três sistemas de membranas foram 2 bar para a ultrafiltração, 4, 6, 8, 10 bar para a nanofiltração e 10, 15, 20 e 25 bar para a osmose inversa. A Tabela 10.2 resume os valores obtidos por diversos parâmetros após centrifugação seguida de ultrafiltração da amostra de água ruça.

**Tabela 10.2: Características da amostra de água ruça**

Parâmetro	Unidade	Água ruça bruta	Após centrifugação	Após ultrafiltração
Condutividade	mS/cm	5,3 $\pm$ 0,2	5,2 $\pm$ 0,2	5,2 $\pm$ 0,2
CQO	g/l	40,3 $\pm$ 1,0	27,9 $\pm$ 0,3	17,7 $\pm$ 0,4
SST	g/l	6,6 $\pm$ 0,7	2,1 $\pm$ 0,14	0,2 $\pm$ 0,01
Turvação	FAU	5,11 $\pm$ 468	1,06 $\pm$ 63	<40

**Adaptado de Coskun, et al. (2010)**

Devido á incapacidade de remoção de sólidos dissolvidos das duas operações, a condutividade manteve-se praticamente inalterada. No entanto, o valor de CQO teve uma quebra em cerca de 60%, tendo sido a redução em SST de 97%. Efectuaram-se igualmente dois ensaios de nanofiltração – com efluente da centrifugação e efluente da centrifugação seguido de ultrafiltração – variando a pressão exercida. No primeiro atingiram eficiências de remoção de CQO máxima na ordem dos 60%, e no segundo uma remoção na ordem dos 80%. Já os ensaios de osmose inversa, após centrifugação e ultrafiltração, revelaram uma remoção de CQO e condutividade de 97,5% e 50%, respectivamente, a uma pressão de 25 bar.

Os processos de filtração por membranas são vantajosos quando se pretende concentrar a matéria orgânica e recuperar determinados constituintes que se possam tornar valorizáveis. A aplicação

destas tecnologias depende da possibilidade de haver retorno económico do concentrado. O concentrado que tem na sua constituição compostos fenólicos, ao serem extraídos, podem ser usados como antioxidantes naturais em outras indústrias, desde em rações para animais a cosméticos. A recuperação de constituintes presentes na composição da água ruça é abordada no Capítulo 10.6

## 10.2. Processos físico-químicos

### 10.2.1. Neutralização

O ajuste do pH ou neutralização de uma água é necessário quando há alcalinidade ou acidez em excesso no meio. Uma vez que as águas residuais têm geralmente como destino final o meio hídrico, há necessidade de se controlar o pH. Muitos organismos são sensíveis a grandes variações de pH, pelo que destabilizar o equilíbrio do ecossistema receptor pode levar à sua morte. Este processo é igualmente essencial quando a depuração da água residual se dá com recurso a tratamentos biológicos anaeróbios, uma vez que a produção de metano se dá apenas na faixa de pH entre 6,5 e 7,6 (Azbar, et al. 2004).

Águas residuais ácidas, como as águas ruças, podem ser neutralizadas com inúmeros reagentes químicos incluindo o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), óxido de cálcio ou cal viva ( $\text{CaO}$ ), hidróxido de cálcio ou cal hidratada ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), entre muitos outros.

A adição de reagentes químicos deve ser efectuado com um controlo muito rigoroso, não só para não haver desperdícios mas também por não prejudicar o restante processo de tratamento. Uma situação comum é a dosagem de  $\text{CaCO}_3$  em excesso, o que pode levar a formação de precipitados e consequentemente a incrustações noutros órgãos a jusante ou nos colectores municipais.

Aktas, et al. (2001) estudaram o tratamento por adição de cal com o objectivo de reduzir o poder contaminante das águas ruças, recorrendo a amostras provenientes de lagares tradicionais e contínuos. Com a adição de cal à água ruça, o pH sofreu um aumento de 4 para 12. Na Tabela 10.3 apresentam-se as percentagens de remoção diferenciando os dois sistemas de extracção.

**Tabela 10.3: Eficiência de remoção de certos compostos presentes na amostra de água ruça**

Parâmetro	Remoção	Sistema de extracção	
		Tradicional	Contínuo
CQO	%	41,5	46,2
ST	%	29,3	46,9
SSV	%	41,2	53,2
Açúcares redutores	%	74,4	37,0
Óleos e gorduras	%	94,9	95,8
Polifenóis	%	73,5	62,5
Fenóis voláteis	%	38,4	32,0
Compostos azotados	%	60,5	80,1

**Adaptado de Aktas, et al. (2001)**

Através da adição de cal para neutralizar a água ruça, grande parte dos contaminantes são removidos. A análise dos resultados cromatográficos conclui que os o-difenois (compostos fenólicos de alta fitotoxicidade) podem ser removidos com um tratamento de neutralização recorrendo a cal.

### 10.2.2. Coagulação/floculação

A matéria presente nas águas ruças varia consideravelmente em origem, composição, tamanho, forma, densidade e carga superficial. As partículas suspensas podem ser removidas por sedimentação gravítica num período de tempo razoável sem a necessidade de adição de coagulantes, mas por outro lado, as partículas coloidais (0,01  $\mu\text{m}$  a 1,0  $\mu\text{m}$ ) têm essa necessidade devido ao seu baixo peso específico. O processo de coagulação inicia-se com a destabilização das cargas dos sólidos em suspensão. Para esta se dar de forma eficiente, a dispersão do coagulante deve ser efectuada através de uma operação de mistura rápida para maximizar a adsorção do coagulante às partículas, neutralizando as referidas cargas.

Os reagentes coagulantes, de carga oposta, neutralizam-nas e consequentemente potenciam a agregação das partículas entre si, que de acordo com Amitharajah, et al. (1990) pode ocorrer por intermédio de três processos físicos - floculação pericinética, floculação ortocinética ou por flotação diferencial – descritos de seguida.

- **Floculação pericinética** – as colisões ocorrem em função do movimento aleatório das partículas, denominado por movimento browniano;
- **Floculação ortocinética** – as colisões dão-se em função de um gradiente de velocidade induzido, geralmente promovido em câmaras de mistura lenta;

- **Floculação diferencial** – as colisões das partículas é favorecida pela acção da gravidade é em função da velocidade de sedimentação.

Após a mistura vigorosa dos reagentes com a água a tratar, esta geralmente segue para uma câmara de mistura lenta. Induz-se então a floculação ortocinética por forma a potenciar a formação dos flocos, partículas agregadas de tamanho considerável e capazes de sedimentar.

Para além de coagulantes, há a possibilidade de se adicionar floculantes para maximizar o crescimento dos flocos. Os reagentes coagulantes e floculantes incluem polímeros orgânicos naturais ou sintéticos, sais metálicos, como sulfato de alumínio ou de ferro, e sais metálicos pré-hidrolisados como o cloreto de polialumínio (CPA) ou cloreto de poliferro (CPF) (Metcalf&Eddy 2004).

Oliveira de, et al. (1976) estudaram o processo de coagulação/floculação em águas ruças, com o objectivo de remoção de azeite, sólidos suspensos e  $\text{CBO}_5$ . Utilizaram como reagentes químicos hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) e sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) em dosagens sucessivas, obtendo uma redução na oxidabilidade e na CQO em 22,4% e 40%, respectivamente, observando a elevada formação de precipitado. A formação de precipitado indica a eficiência do processo, tal que, se se obtiver elevadas quantidades de sólidos sedimentado, isto indica exactamente que a separação pode ser considerada bastante eficiente.

A indução da agregação de partículas para a sua posterior sedimentação pode ser efectuada através de reagentes químicos, como referido anteriormente, mas também com recurso à electrocoagulação. Adhoum, et al. (2004) utilizaram a electrocoagulação com recurso a eléctrodos de alumínio para avaliar a eficiência de remoção de compostos fenólicos, COD e de cor, de uma água ruça proveniente de um lagar com sistema de extracção tradicional. Esta técnica combina três processos independentes (electroquímica, coagulação e hidrodinâmica), que operam sinergicamente na remoção de contaminantes. Como resultados, obtiveram uma redução de 77% de CQO e polifenóis e de 95% coloração, quando accionada uma corrente de 75 mA/cm durante 25 minutos, em amostras de 0,5L de água ruça.

Tezcan, et al. (2006) estudaram a viabilidade, inclusive económica, do tratamento de águas ruças por electrocoagulação, com o recurso a eléctrodos de Al e de Fe com adição de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e cloreto de polialumínio, em lagares de pequena e média dimensão. O custo da aplicação da electrocoagulação foi de 0,18 euros/ 6,75kg de CQO removidos, incluindo a adição de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a 2,3% e 0,5g CPA/L.

Devido à necessidade de comprar reagentes e às reduções de CQO relativamente baixas, a coagulação química ou eléctrica não parece constituir um processo vantajoso para o tratamento

deste tipo de efluentes. Considerara-se que este poderá constituir um pré-tratamento adequado, antecedendo um tratamento biológico ou filtração por membranas posterior.

### 10.2.3. Adsorção

A adsorção é uma operação de transferência de um constituinte presente na fase líquida para a fase sólida e ocorre não só na superfície visível, mas também a nível dos poros. O adsorvido é a substância que é transferida da fase líquida e o adsorvente é o sólido, líquido ou gás adicionado que vai adsorver os constituintes a remover. O processo de activação envolve primeiramente a carbonização da matéria-prima e a subsequente activação a alta temperatura numa atmosfera de vapor de água ou CO<sub>2</sub>. A activação química é semelhante mas envolve a carbonização da matéria-prima impregnada com um agente químico.

Os principais adsorventes usados no tratamento de águas residuais incluem o carvão activado, polímeros sintéticos e substâncias à base de sílica, embora estes dois últimos sejam menos usados devido ao seu elevado custo (Metcalf&Eddy 2004). O carvão activado é o adsorvente mais utilizado pois apresenta uma elevada superfície específica e uma elevada capacidade de adsorção (60 a 80% das substâncias orgânicas da água ruça) mas tem a contrapartida de não poder ser reutilizado (UE 2000).

O processo de adsorção ocorre geralmente em 4 etapas (Metcalf&Eddy 2004):

- 1) Movimento das substâncias por advecção até à superfície do adsorvente;
- 2) Transporte por difusão até à entrada dos poros do adsorvente;
- 3) Transporte por uma combinação de difusão molecular através dos poros;
- 4) Agregação do adsorvido ao adsorvente.

O objectivo do trabalho de Galiatsatou, et al. (2002) foi a avaliação da viabilidade de se utilizar como carvão activado o caroço das azeitonas, de forma a reduzir o contudo em CQO e compostos fenólicos da água ruça. O carvão activado de mesoporosidade favoreceu a adsorção dos compostos fenólicos, já o que apresentava microporosidade favoreceu a adsorção de matéria orgânica expressa na redução de CQO observada. Para os autores, estas matérias-primas, subprodutos da indústria do azeite, podem resolver dois problemas ambientais de uma só vez; o volume de bagaço produzido é reduzido devido ao aproveitamento da azeitona e minimiza-se a problemática do tratamento das águas. Através do aproveitamento do caroço de azeitona para o fabrico de carvão activado, o



produtor de azeite pode obter um rendimento extra com a sua venda, tendo que incorporar à sua linha de extracção uma etapa de descaroçamento antes da moenda.

Igualmente no estudo da adsorção de constituintes destes efluentes, Al-Malah, et al. (2000) usaram argila activada como adsorvente para estudarem a redução de compostos fenólicos e de carga orgânica em águas ruças que foram previamente submetidas a um tratamento prévio por sedimentação, centrifugação e filtração. A água ruça bruta apresentava um pH médio de 4,52, e, após as duas primeiras operações, o pH aumentou para 5,15 devido à extracção dos constituintes fenólicos da fase líquida. Após a filtração verificaram-se reduções de CQO e CBO<sub>5</sub> em 21% e 16%, respectivamente. A argila activada atingiu o grau de saturação em 4 horas, conferindo uma redução em 81% e 71% de fenóis e CQO, respectivamente.

#### **10.2.4. Oxidação química**

O recurso à oxidação química de um ou mais compostos presentes numa água residual envolve geralmente o recurso ao ozono (O<sub>3</sub>), peróxido de hidrogénio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), permanganato (MnO<sub>4</sub>), cloro (Cl<sub>2</sub>), dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>) ou oxigénio (O<sub>2</sub>), e tem como objectivo eliminar o poder contaminante das substâncias consideradas poluentes.

A oxidação química tem sido utilizada na redução da concentração de matéria orgânica, controlo de odores, remoção de amónia e na redução de biomassa bacteriana e viral presente na água residual. No entanto hoje em dia é comum a sua utilização para potenciar a remoção de matéria orgânica não biodegradável, eliminar compostos capazes de inibir o crescimento microbiano e eliminar compostos tóxicos para a biomassa microbiana e para a flora aquática.

A ozonização é frequentemente utilizada como tratamento terciário na etapa de desinfecção, mas pode ser utilizada também como pré-tratamento de águas residuais, uma vez que oxida prioritariamente compostos com ligações duplas como os ácidos gordos e os compostos fenólicos, tão característicos das águas ruças. O ozono é então capaz de converter compostos inorgânicos em estados de oxidação mais elevados, quebrar as ligações de moléculas de difícil biodegradação e remover odores e substâncias causadoras de coloração e sabor (Metcalf&Eddy 2004).

O tratamento por oxidação química pode ser maximizado aquando da formação de radicais hidroxilo (HO<sup>•</sup>), denominado de Processo de Oxidação Avançada ou POA. Estes radicais com elevado poder oxidante à temperatura ambiente e pressão atmosférica, são capazes de reagir com praticamente todas as classes de compostos orgânicos, sem qualquer tipo de restrições a classes ou grupos de constituintes. O radical hidroxilo reage com os constituintes dissolvidos na água, iniciando uma série

de reacções de oxidação até se atingir o estado de mineralização (conversão de carbono orgânico em  $\text{CO}_2$ ). Existe actualmente um conjunto muito variado de opções para produzir o radical hidroxilo em fase aquosa, entre os quais os processos envolvendo  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ , a fotólise do  $\text{H}_2\text{O}_2$ , a fotólise do  $\text{O}_3$ , a fotocatalise e a Reacção de Fenton (Metcalf&Eddy 2004).

A grande vantagem destes processos é serem processos destrutivos, isto é, os contaminantes são destruídos quimicamente em vez de sofrerem apenas uma mudança de fase como sucede nos processos físicos.

Seguidamente resumem-se os principais aspectos associados às diferentes reacções de oxidação:

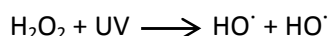
#### **a) $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$**

Este POA é bastante eficiente para compostos que não absorvem a radiação ultravioleta (UV) e compostos como tricloroetileno ( $\text{C}_2\text{HCl}_3$ ) e percloroetileno ( $\text{C}_2\text{Cl}_4$ ) são reduzidos significativamente com a produção de radicais hidroxilo através de  $\text{O}_3$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  (Metcalf&Eddy 2004). A reacção geral é representada pela seguinte equação:



#### **b) Fotólise do $\text{H}_2\text{O}_2$**

Os radicais hidroxilo são formados quando uma solução aquosa com  $\text{H}_2\text{O}_2$  é exposta a radiação UV com comprimentos de onda entre 200 a 280nm. Nalguns casos, este processo não é factível devido ao facto de ter um reduzido coeficiente de extinção molar (capacidade que um mol de substância tem em absorver luz com um dado comprimento de onda), levando à necessidade de grandes quantidades de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (Metcalf&Eddy 2004). A reacção geral da fotólise do  $\text{H}_2\text{O}_2$  é:

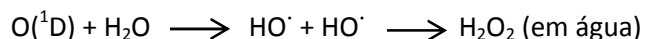
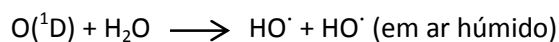
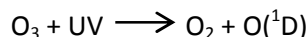


#### **c) Fotólise do $\text{O}_3$**

O ozono apresenta vantagens sobre outros agentes oxidantes convencionais, principalmente devido à sua cinética elevada. O tratamento com ozono pode ser potenciado com o uso de UV de forma a produzir maior quantidade de radicais hidroxilo. Considerando que a fotólise do  $\text{H}_2\text{O}_2$  é bastante lenta em comparação com a decomposição do ozono pelo  $\text{HO}_2^\cdot$ , este último deve ser o processo a seguir (Andreozzi, et al., 1999). Lafi, et al. (2009) analisaram a redução de CQO numa amostra de água

ruça, previamente centrifugada e filtrada, com recurso POA com  $O_3$ , fotodegradação por UV e pela combinação destes. A redução de CQO foi de 27, 5% e 29%, respectivamente.

A fotólise do  $O_3$  é dada pelas seguintes reacções:



#### d) Fotocatálise

Na fotocatálise, a radiação UV é absorvida por um semiconductor de dióxido de titânio ( $TiO_2$ ) por forma a criar os radicais hidroxilo. Este processo tem a capacidade para oxidar praticamente qualquer contaminante, levando-os ao estado de mineralização. Um dos aspectos mais interessantes do recurso ao  $TiO_2$  depende do facto de que este usa radiação solar ao invés de radiação UV, tornando o processo menos dispendioso, e com a vantagem de poder ocorrer rapidamente à temperatura ambiente e pressão normal (Niaounakis e Halvadakis 2006).

#### e) Reacção de Fenton

A reacção de Fenton é um processo que envolve uma mistura de catiões  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$  e  $H_2O_2$  decomposta cataliticamente em meio ácido, para valores de pH entre 2 e 5 (Rivas, et al. 2001). Das reacções que ocorrem no sistema, resultam radicais hidroxilo que actuam sobre os compostos orgânicos de forma rápida e não selectiva. O valor da CQO decresce substancialmente devido ao processo de coagulação/floculação que ocorre. Durante a oxidação química são produzidos flocos, que são naturalmente precipitados de forma lenta, dando origem a um aumento do teor de oxigénio dissolvido, resultando numa descoloração do efluente.

O trabalho de Nieto, et al. (2011) teve como objectivo o estudo da oxidação da matéria orgânica da água de lavagem das azeitonas e do azeite, proveniente de um lagar com sistema de extracção de duas fases, através da aplicação da reacção de Fenton. A conclusão que tiraram foi que o recurso à reacção de Fenton utilizando  $FeCl_3$  como catalisador na presença de  $H_2O_2$ , é bastante eficiente na degradação de matéria orgânica e compostos fenólicos, reduzindo-os em cerca de 95%.

Este processo permite reduções em cerca de 50% na matéria orgânica, em mais de 80% na toxicidade e mais de 75% na coloração. É uma solução que envolve baixos custos de operação, em termos de reagentes e de energia (Niaounakis e Halvadakis 2006).

A utilização de POA por reacção de Fenton pode ser uma solução de pré-tratamento de águas ruças a ser considerada, não só pelas reduções de matéria orgânica também porque é relativamente barata.

### 10.2.5. Oxidação electroquímica

A oxidação electroquímica pode ser aplicada quando o efluente apresenta substâncias tóxicas ou resistentes à degradação biológica. Este processo é um método de depuração muito eficiente e económico, pois não necessita da adição de reagentes químicos e dá-se à temperatura ambiente e à pressão atmosférica.

Este tratamento inclui a aplicação de uma corrente entre dois eléctrodos emersos numa solução ácida (típico das águas ruças). Como ânodo podem ser utilizados o  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{PbO}_2$ , Pt ou Pt-Ti, e o aço como cátodo. Como electrólito podem ser utilizados o cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ), sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) e o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Como desvantagens, inclui-se o elevado consumo energético, a possível formação de organoclorados e a exigência em mão-de-obra qualificada (Niaounakis e Halvadakis 2006).

### 10.2.6. Permuta iónica

A permuta iónica é a troca de iões considerados indesejáveis presentes numa solução, com iões presentes numa resina insolúvel. Este processo unitário é muito utilizado para o amaciamento de água de abastecimento, onde os iões  $\text{Na}^+$  de uma resina de permuta catiónica dão lugar aos iões cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), responsáveis pela dureza característica de águas com excesso destas espécies. Como a resina é insolúvel apresenta capacidade de troca limitada, pelo que quando os respectivos sítios activos são ocupados a resina entra em estado de saturação. Pelo facto deste processo envolver uma reacção de equilíbrio químico, as resinas podem ter a sua capacidade recuperada.

No tratamento de águas ruças, este processo é ideal para remover metais pesados, metais alcalinos, cloretos, sulfatos e nitratos, sendo utilizados quelatos semi-ácidos com capacidade de troca catiónica. Já na remoção de fenóis, usam-se materiais semi-ácidos, com capacidade de troca aniónica, sendo a resina regenerada com metanol (Niaounakis e Halvadakis 2006).

### 10.3. Processos biológicos

Os principais objectivos do tratamento de águas residuais por recurso à via biológica é a redução da concentração da carga orgânica e inorgânica, transformação de matéria biodegradável suspensa ou dissolvida em produtos não contaminantes, captura de sólidos suspensos e matéria coloidal através da assimilação por microrganismos e a transformação ou remoção de nutrientes. Como se trata de um tratamento que envolve biomassa, por vezes há a necessidade de se efectuar um pré-tratamento, por forma a assegurar que a água residual que entra em contacto com a biomassa esteja própria para ser tratada. Para tal é estritamente necessário conhecer as vias catabólicas das espécies passivas de serem utilizadas para se obter uma degradação eficiente da variedade de compostos que se encontram nas águas ruças. Os processos biológicos são mais económicos e eficientes que os físico-químicos, nomeadamente os que se recorrem de via anaeróbia (Niaounakis e Halvadakis 2006).

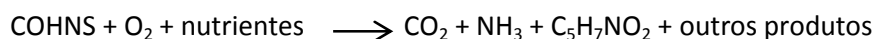
De acordo com a revisão bibliográfica efectuada, o rácio C:N:P nos tratamentos aeróbios e anaeróbios é de 100:5:1 e 250:5:1, respectivamente. A carga orgânica nas águas ruças, comparativamente à concentração de N e P, é muito superior, levando geralmente à de adição destes nutrientes para que a biomassa se encontre em condições de depurar a água residual.

#### 10.3.1. Oxidação biológica aeróbia

Nas estações de tratamento de águas residuais com recurso a reactores biológicos aeróbios, os processos de depuração que ocorrem no meio natural são intensificados, para que ocorram num período de tempo reduzido. Este processo depende dos microrganismos que vivem em condições aeróbias, ou seja, onde não deverá existir limitação de oxigénio nem de substrato. A remoção de matéria orgânica biodegradável pode ser efectuada por um conjunto de microrganismos, através de tecnologias de biomassa em suspensão ou fixa.

Na oxidação aeróbia, a conversão de matéria orgânica é efectuada por uma mistura de culturas bacterianas, de acordo com a seguinte estequiometria, segundo Metcalf&Eddy, (2004):

##### Oxidação e síntese



##### Respiração endógena



Através das equações anteriores pode-se verificar que a matéria orgânica é oxidada por desidrogenação, formando  $\text{CO}_2$ . O hidrogénio libertado reage com o oxigénio formando moléculas de água. A oxidação é acompanhada por uma forte produção de energia armazenada sobre a forma molecular. A biomassa utiliza esta energia para se reproduzir e para a respiração endógena, formando  $\text{CO}_2$ .

As tecnologias que podem ser utilizadas para a depuração de águas ruças através do recurso à via biológica aeróbia, incluem reactores de biomassa fixa como leitos percoladores e discos biológicos, reactores de biomassa suspensa como lamas activadas e reactores descontínuos sequenciais.

### 10.3.1.1. Leitos percoladores

Os leitos percoladores são reactores biológicos de biomassa fixa emersa, a qual está fixa a um meio de suporte e ao qual aflui a água residual de forma contínua. Esta última aflui pela parte superior do reactor através de um sistema de distribuição rotativo por forma a reparti-la por toda a área e uniformizar a sua descarga. O meio de suporte ideal deve ser pouco dispendioso, com alta durabilidade, ter elevada superfície específica por unidade de volume e suficiente porosidade por forma a minimizar colmatações e maximizar a circulação do ar.

A comunidade microbiana responsável pela depuração da água, que se desenvolve no meio de suporte, designa-se por biofilme, e inclui geralmente bactérias aeróbias e facultativas, fungos, algas e protozoários. As bactérias que predominam neste processo de tratamento biológico incluem as *Achromobacter*, *Flavobacterium* e *Alcaligenes*, sendo que na parte inferior do leito prevalecem as bactérias nitrificantes. As bactérias têm como função directa a degradação da matéria orgânica através da sua assimilação. Os fungos mais comuns são *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Geotrichum* e *Sporotrichum*, desenvolvendo-se a valores de pH baixos. Estes mesmos autores afirmam que a comunidade algal é principalmente composta por *Phormidium*, *Chlorella* e *Ulothrix*, a qual se desenvolve na parte superior do leito onde há disponibilidade de luz solar. O seu papel no tratamento da água não é directo mas são responsáveis por fornecer oxigénio à água que está a ser percolada. Entre os protozoários distinguem-se a *Vorticella*, *Opercularia* e *Epistylis* (Metcalf&Eddy 2004). Estes têm como função manter o biofilme em condições ideais, alimentando-se deste, resultando em taxas de crescimento do biofilme elevadas e redução de turvação no efluente.

Geralmente a água percolada é recirculada por forma a ajustar as condições de funcionamento do leito percolador às características qualitativas e quantitativas da água residual afluenta. De acordo (Pita 2002), a recirculação da água promove:

- Diluição da água residual a tratar;
- Humidificação do biofilme, nos períodos em que o caudal afluente à ETAR é reduzido ou mesmo nulo;
- Redução da tendência de colmatção do meio filtrante, devido ao crescimento excessivo do biofilme, através do “efeito de lavagem” sobre a película biológica;
- Amortecimento dos picos de caudal e de carga orgânica da água residual afluente;
- Adição do oxigénio dissolvido na água recirculada à água residual a tratar;
- Redução de odores e proliferação de insectos.

Nalgumas situações recorre-se a estes uma vez que do ponto de vista energético, é mais vantajoso do que recorrer a um processo de tratamento biológico por lamas activadas.

Michailides, et al. (2011) avaliaram a eficiência de remoção de CQO, compostos fenólicos bem como outros constituintes de águas ruças, a partir de um leito percolador à escala-piloto, construído e a operar sob condições reais. O leito percolador possuía um diâmetro de 1,8 m e 3 m de altura. O meio de suporte, fabricado em PEAD, apresentava uma área específica de  $188 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , um peso específico de  $47 \text{ kg}/\text{m}^3$  e com uma porosidade de 95%. A lavagem do leito percolador era efectuada quinzenalmente com água e ar a 72 e  $150 \text{ m}^3/\text{h}$ , respectivamente, de forma ascendente. As várias amostras de água ruça apresentavam uma concentração média de CQO de  $43 \text{ g}/\text{L}$  e de fenóis de  $9,4 \text{ g}/\text{L}$ , à temperatura de  $35^\circ\text{C}$ . As concentrações médias de diversos parâmetros analisados, antes e após da passagem pelo leito percolador são apresentadas na Tabela 10.4.

**Tabela 10.4: Características da amostra de água ruça bruta e do efluente após passagem por um leito percolador**

Parâmetro	Unidade	Afluente	Efluente
Condutividade	mS/cm	6	5
pH	Escala de Sorensen	5	5
ST	mg/L	36	25
CBO	mg/L	25832	12736
CQO	mg/L	42935	21201
Fenóis	mg/L	9236	4311
N Kjeldahl	mg/L	909	885
NH <sub>3</sub>	mg/L	3	26
Orto-fosfatos	mg/L	146	97

**Adaptado de Michailides, et al. (2011)**

Este processo de tratamento de águas ruças apresenta uma remoção limitada de carga orgânica, mas é de salientar que não utiliza qualquer tipo de arejamento forçado o que reduz em muito os custos

de operação. Pode constituir uma alternativa como pré-tratamento, em combinação outras tecnologias de tratamento, por forma a reduzir a carga poluente inicial a baixo custo.

### 10.3.1.2. Lamas activadas

A definição de lamas activadas foi atribuída por Arden and Lockett em 1914, pelo facto de durante os seus estudos, que envolviam o arejamento de águas residuais, terem observado que as lamas que se formavam tinham um papel essencial na depuração do efluente. Esta denominação foi dada, porque envolvia a produção de uma massa de microrganismos capaz de estabilizar aerobiamente a matéria orgânica presente na água residual.

O processo por lamas activadas inclui geralmente cinco componentes básicos:

- Um reactor, onde ocorre todo o processo de depuração da água residual;
- A população de microrganismos, ou biomassa microbiana, a qual é responsável pela depuração da água residual;
- Um sistema de arejamento instalado no reactor biológico por forma a fornecer oxigénio à biomassa, sendo esta composta por microrganismos aeróbios e geralmente induzido através de agitadores ou difusores de ar.
- Um decantador secundário para a separação da fase sólida da fase líquida proveniente do reactor biológico;
- Um sistema de recirculação de lamas do decantador de volta ao reactor biológico.

García-García, et al. (2002) estudaram a capacidade de certos fungos de reduzir a concentração de compostos fenólicos presentes nas águas ruças, sendo que as amostras analisadas provinham de um lagar com sistema de extracção contínua. A remoção de fenóis relativamente à matéria orgânica consumida indicou a selectividade dos microrganismos em estudo. As amostras de água ruça apresentavam concentrações em fenóis totais de 1,2 g/L, e em CQO de 82 g/L, e foram submetidas a fermentação de diversas culturas fúngicas aeróbias. As culturas de *Aspergillus terreus*, *Aspergillus niger* e *Phanerochaete chrysosporium*, reduziram os fenóis totais em cerca de 53 %, 75% e 92% e a CQO em cerca de 63%, 70% e 78%, respectivamente. Estes resultados foram obtidos após 50 horas do início do processo de depuração, sendo que a partir deste momento se observou uma estabilização da actividade de fermentação das culturas fúngicas.

As águas ruças contêm elementos fitotóxicos em elevada concentração que reduzem a eficiência do tratamento por via biológica. No entanto, a depuração biológica deste tipo de efluente por lamas



activadas pode ser concretizada se for feita previamente uma diluição ou um pré-tratamento por neutralização com cal, por forma a reduzir a concentração das substâncias contaminantes. Como as estações de tratamento de águas residuais estão situadas em polos populacionais e os lagares de azeite dispersas pelo interior do país, a primeira solução é muitas vezes inviável.

### 10.3.1.3. Reactor sequencial descontínuo

Os reactores sequenciais descontínuos, *Sequential Batch Reactor* (SBR) em inglês, são uma variante do processo de lamas activadas. São reactores alimentados descontinuamente e é no próprio reactor que se dão todas as etapas que ocorrem no processo de lamas activadas (reactor + decantador secundário). Todos os parâmetros de controlo anteriormente descritos devem ser igualmente monitorizados. O reactor funciona de forma cíclica com quatro etapas em cadeia por ciclo, sem que a próxima etapa comece antes da anterior terminar (Metcalf&Eddy 2004). As etapas que se dão por ciclo são:

- 1) **Alimentação** – afluência da água residual bruta no reactor biológico, preenchendo o volume o volume do mesmo entre 75 a 100%. O enchimento pode ocorrer sobre agitação, com arejamento ou sem arejamento para promover as reacções biológicas que se irão dar na etapa seguinte;
- 2) **Reacção** – mistura entre a biomassa e o efluente promovidos por agitação e difusão de ar, intensificando-se a depuração do efluente;
- 3) **Sedimentação** - Repouso do conteúdo do reactor, sem agitação ou arejamento, com o objectivo de criar uma fase líquida (clarificado) e uma fase sólida (lamas);
- 4) **Descarga** do efluente clarificado e necessária purga de lamas.

O objectivo do trabalho de Farabegoli, et al. (2012) foi a avaliação da eficiência de um SBR alimentado com água ruça, ou diluída previamente ou submetida a um pré-tratamento. Como pré-tratamento recorreram a uma neutralização do pH e a uma adsorção por carvão activado granulado, devido às suas elevadas eficiências de remoção de CQO e de compostos fenólicos, mais concretamente de taninos, maximizando a biodegradabilidade do efluente. Ao compararem os resultados obtidos, concluíram que o SBR apresentou maiores eficiências de remoção quando alimentado com água ruça diluída, sem qualquer tratamento prévio. Com uma diluição de 1:25, observaram remoções de CQO e taninos na ordem dos 90% e 76%, respectivamente. Quer com pré-tratamento quer com uma diluição da água ruça em 1:50, as eficiências de remoção da CQO no SBR foram idênticas, cerca de 74%, e a remoção de taninos foi maior na amostra diluída.

### 10.3.2. Oxidação biológica anaeróbia

Os tratamentos anaeróbios permitem tratar efluentes com elevada carga orgânica como é o caso das águas ruças, gerando um reduzido volume de lamas. São caracterizados por consumos energéticos relativamente baixos e tem a capacidade de produzir biogás que pode ser utilizado como fonte de energia térmica ou eléctrica.

A tecnologia de digestão anaeróbia era tradicionalmente aplicada no tratamento de lamas e de efluentes com cargas orgânicas altamente elevadas. Para efluentes industriais de elevadas temperaturas e com elevadas concentrações da CQO biodegradável, o recurso a tratamentos biológicos anaeróbios pode constituir uma alternativa atractiva do ponto de vista económico. Por outro lado, o investimento exigido nos equipamentos destinados à recolha e valorização do biogás e a necessidade de adequado acompanhamento técnico tornam difícil a aplicação deste processo de tratamento em lagares de pequena dimensão (Peres e Santos 1998).

Na digestão anaeróbia ocorre um conjunto de processos que convertem os compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono, através de microrganismos anaeróbios. Esta transformação processa-se em três fases fundamentais: hidrólise, acidogénese e metanogénese. Cada fase prepara a seguinte, dando origem a uma sequência de reacções realizadas por diferentes agentes microbiológicos específicos para cada tipo, que incluem (Metcalf&Eddy 2004):

- 1) **Hidrólise** - as bactérias hidrolíticas são responsáveis pela hidrólise, quebrando moléculas orgânicas complexas (proteínas, celulose, lenhina e lípidos) e dando origem a moléculas mais simples (açúcares, aminoácidos, glicerol e ácidos gordos);
- 2) **Acidogénese** – as moléculas originárias da fase anterior, são convertidas em ácidos orgânicos, álcoois, acetato, dióxido de carbono e hidrogénio pela acção das bactérias acidogénicas;
- 3) **Metanogénese** - as bactérias metanogénicas utilizam os anteriores na produção de metano. Este é um dos mais estudados processos de tratamento das águas-ruças.

A composição da água ruça torna difícil a aplicação directa deste tipo de tratamento. A presença de lípidos e de compostos fenólicos faz com que as águas ruças constituam um ambiente hostil para as bactérias anaeróbias, sendo também um efluente muito deficitário em azoto, macronutriente essencial para a manutenção da biomassa anaeróbia. Na digestão nos reactores anaeróbios, a hidrólise de lípidos potencia a acumulação dos ácidos gordos voláteis de cadeia longa (AGVCL) que

mantêm cerca de 95 % da carga orgânica original, comportando-se como detergentes (Perle, Kimchie e Shelef 1995). Para que tal não aconteça, ou para se reduzir a possibilidade de ocorrer, procede-se separação prévia dos óleos e gorduras por processos físicos ou físico-químicos, sendo a flotação uma boa opção para tal, como referido anteriormente.

De entre os vários reactores anaeróbios de alta-carga desenvolvidos ao longo do tempo, o digestor anaeróbio de manto de lamelas de fluxo ascendente, *Up-flow Ascendent Sludge Bed* (UASB) em inglês, tem-se tornado um dos mais utilizados no tratamento biológico de águas residuais, especialmente dos efluentes da indústria alimentar, caracterizados pelas elevadas cargas orgânicas. Consiste numa câmara fechada, em que a água residual aflui pela parte inferior, atravessa o manto de lamelas onde ocorre a degradação anaeróbia pela biomassa e é recolhida numa caleira na parte superior do reactor. À parte, mas também na parte superior do reactor, é recolhido o biogás produzido.

O arranque do reactor deve envolver o adequado ajuste das condições de operação, incluindo a inoculação do reactor, o pH do afluente, o tempo de retenção hidráulico, a carga orgânica afluente, a concentração de lamelas inicial, a temperatura e a velocidade ascendente da água residual. O sucesso do tratamento anaeróbio com recurso a um reactor UASB é essencialmente devido à formação de um manto de lamelas granular. Este tem a capacidade de manter altas concentrações de biomassa activa imobilizada, mesmo sujeita à velocidade ascendente da água residual e à formação do biogás (Habeeb, Aziz e Ahmad 2010).

O trabalho de Sampaio, et al., 2011 teve como objectivo a criação de um ambiente com diferentes efluentes e propício à depuração, tendo como base água ruça, por forma a não se recorrer a qualquer tipo de tratamento prévio. Este estudo fez parte de um conceito de valorizar energeticamente as águas ruças de maneira simples, flexível e económica. Muitos outros estudos abordam o tratamento anaeróbio de águas ruças conjugando-as com outros resíduos, quer sólidos quer líquidos, como por exemplo o estrume e outros efluentes agro-industriais, incluindo água residual doméstica.

Este estudo iniciou-se com dois efluentes distintos – um proveniente de um lagar de extracção contínua de três fases e o outro de uma indústria pecuária, ambos com origem geográfica em Rio Maior, Portugal. O efluente alimentou o reactor UASB, com um tempo de retenção hidráulico ( $T_{rh}$ ) médio de 6,5 dias. Durante os primeiros 14 dias, o reactor foi alimentado apenas com o efluente da indústria pecuária, com um pH elevado característico. A partir do 15º dia foi feita uma co-digestão, adicionando gradualmente 53%, 69% e 83% (v/v) de água ruça. Concentrações elevadas de CQO, entre 54 e 55 g/L, pH ácido de 5,0 e falta de alcalinidade e azoto são algumas das características

adversas das amostras de água ruça. A afluência diária, contabilizada em matéria orgânica de 8 g/L, produziram entre 3,7 a 3,8 m<sup>3</sup>/dia de biogás com 63 a 64% de CH<sub>4</sub>, resultando numa redução de 81% a 82% de CQO. Observou-se uma excelente flexibilidade por parte da biomassa presente quando se provocavam choques orgânicos semanais, com alternância dos dois efluentes, entre o dia 233 e o dia 350 (último dia do estudo). Como conclusão tirada pelos autores, há a possibilidade de se considerar que a água ruça tem capacidade de ser uma excelente matéria-prima para a produção de energia quando sujeita a um tratamento anaeróbio, sem qualquer tipo de custos adicionais em correctores que diminuam a sua toxicidade.

De acordo com os ensaios elaborados à escala-piloto por Gizgis, el al. (2005), é igualmente possível tratar uma mistura de água ruça e água residual doméstica, através de um tratamento biológico combinado anaeróbio em alta carga por intermédio de um reactor UASB seguido de processo convencional por lamas activadas. Segundo os autores, foi escolhido um UASB uma vez que tem a capacidade de atingir níveis muito elevados de tratamento em conciliação com tempos de retenção hidráulicos reduzidos. O reactor foi operado em condições mesófilas, sendo alimentado por uma mistura de água ruça proveniente de um lagar com sistema de extracção de duas fases, com efluente doméstico, com uma concentração média de 2.697 mgCQO/L e 1.052 mgSDT/L. As reduções observadas nos mesmos parâmetros foram de 83% e 84,2%, respectivamente. A produção de biogás variou entre 5 L/dia e 12 L/dia, correspondendo respectivamente a uma produção de cerca 3 a 6 L/gCQO removida. Após o tratamento aeróbio, a concentração de CBO no efluente apresentou-se consistentemente abaixo dos 20 mg/L, a concentração de SST entre 12 e 42 mg/L.

Para além do UASB, existem muitos outros processos, embora não tão utilizados, a que se pode recorrer para a depuração das águas ruças. Segundo Georgacakis, el al. (1993), após uma sedimentação gravítica de 10 dias de uma amostra de água ruça, alimentou-se com o sobrenadante um reactor anaeróbio de leito fixo. Segundo os autores, a redução da CQO e a produção de biogás excederam o mencionado na respectiva revisão bibliográfica, em relação ao mesmo tratamento mas com água ruça bruta.

A avaliação da degradação anaeróbia de uma amostra de água ruça, com recurso a dois processos em série, um reactor UASB seguido de um reactor de leito fixo, a operarem a temperaturas mesófilas foi efectuada por Dalis, el al. (1996). Após o primeiro estágio, os resultados foram uma produção de biogás de 2,11 L/L de reactor por dia, e redução da CQO em 83% e de fenóis em 75%. Os resultados observados após o segundo estágio foram uma produção de biogás de 0,22 L/L de reactor por dia, e uma redução da CQO e fenóis em 8 e 45% respectivamente. Os autores sugerem que a aplicação de um reactor anaeróbio de leito fixo é bastante eficiente como complementaridade ao reactor UASB,

sendo uma alternativa economicamente vantajosa e eficiente na redução da carga poluente das águas ruças.

Borja-Padilla, et al., 1996 avaliaram a tratabilidade da água proveniente da purificação do azeite com recurso a um reactor UASB sujeito a temperaturas mesófilas. O reactor foi alimentado com um efluente com carga orgânica até 17,8 kgCQO/m<sup>3</sup>.dia, submetida a Trh de 0,2 a 1,02 dias, obtendo-se uma eficiência média de remoção de 76,2% de CQO.

A digestão anaeróbia de águas ruças é de facto bastante eficiente, se se submeter a um pré-tratamento, por forma a reduzir a concentração de compostos aromáticos e lipídicos. Como pré-tratamentos podem considerar-se entre muitos, o recurso a diluição, centrifugação ou coagulação/floculação. Entre os vários tratamentos possíveis, o reactor UASB é a melhor opção de tratamento biológico anaeróbio de águas ruças devido às suas altas eficiências de depuração de efluentes com características como as das águas ruças (UNEP e WHO 1997). Para além da produção de energia a partir do biogás, o recurso à digestão anaeróbia tem muitas outras vantagens, entre as quais, a baixa produção de lamas, baixo requisito de nutrientes, minimização da emissão de gases e a produção de um efluente clarificado capaz de ter propriedades fertilizantes.

As importações de petróleo, carvão e gás natural em Portugal, enquanto fontes primárias de energia, originam uma dependência energética superior a 80% (DGEG 2012). Apesar deste valor ser inferior para a União Europeia, aproximando-se dos 50%, a questão da segurança do abastecimento e da independência energética constitui uma das bases da sua política energética. Os países com elevadas dependências energéticas, como Portugal, encontram-se particularmente sujeitos às variações do preço das energias importadas. É neste âmbito, juntamente com a necessidade de minimizar o impacto ambiental da energia nas alterações climáticas mediante os objectivos definidos no Protocolo de Quioto, que surge a promoção do uso das energias renováveis e do aumento da eficiência energética.

É na sequência da identificação de alternativas viáveis para o consumo de energia produzida a partir de combustíveis fósseis que o aproveitamento energético em instalações agro-industriais com produção de biogás se torna relevante. Esta opção proporciona a valorização energética dos resíduos e efluentes do sector, pela produção de energia térmica e energia eléctrica, o que constitui uma mais-valia para a actividade. Actualmente, as principais fontes de produção de biogás são as fracções orgânicas existentes nos RSU provenientes dos aterros sanitários e nas lamas provenientes das ETAR, residindo ainda um potencial elevado nos resíduos e efluentes oriundos das actividades agro-pecuárias, agro-alimentares e agro-industriais.

Com o aproveitamento energético do biogás através de processos de digestão anaeróbia de águas ruças, estas passam a ser consideradas enquanto subprodutos valorizáveis das actividades económicas mencionadas. Para além de promover a gestão sustentável dos resíduos produzido, esta opção permite ainda contribuir para a diminuição da dependência energética, diminuição das emissões de gases com efeito de estufa e aumento da produção descentralizada de energia.

Nos últimos anos, tem-se verificado um aumento da produção de biogás a nível europeu devido ao aumento do número de digestores agrícolas (Eurobserv'er 2010). De acordo com este último, a produção de biogás em Portugal – 23 ktep – coloca-o na 16ª posição no *ranking* da EU-25, sendo que esta sobe para 14º lugar quando se refere à produção de energia eléctrica a partir desse biogás – 71 GWh.

De modo a perceber o que envolve o processo de digestão anaeróbia, sumariza-se de seguida alguns aspectos sobre a transformação da energia química do biogás em energia térmica e eléctrica, passivas de serem valorizadas.

### **a) Constituintes do biogás**

A presença dos constituintes do biogás, à excepção do  $\text{CH}_4$ , não só diminui o poder calorífico do biogás como há a possibilidade de danificar seriamente o equipamento de produção de energia o que consequentemente diminui os benefícios associados ao aproveitamento do biogás. De acordo com Schweigkofler, et al. (2001), durante o processo de combustão o gás sulfídrico e os compostos halogenados formam ácidos corrosivos, como ácido sulfúrico, ácido clorídrico e ácido fluorídrico. Desta forma, para o aproveitamento do biogás na produção de energia térmica ou eléctrica ou ambos (co-geração), há uma expressa necessidade de submeter o biogás a um pré-tratamento por forma a fazer-se uma purificação.

### **b) Purificação do biogás**

Qualquer processo de purificação com a finalidade de aumentar o seu poder calorífico do biogás e evitar qualquer dano nos equipamentos de combustão consiste essencialmente em isolar o  $\text{CH}_4$  dos restantes constituintes do biogás.

As consequências da presença de vapor de água,  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{CO}_2$  no sistema de co-geração incluem:

- O biogás ao ser produzido durante a digestão anaeróbia apresenta-se com temperatura igual á do interior do digestor bem como com teores em vapor de água extremamente

elevados. A condensação do vapor durante o transporte pelas tubagens contribui para a sua obstrução.

- Durante a combustão, ocorre a oxidação do  $\text{H}_2\text{S}$  a  $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$ , que, na presença de vapor de água, formam  $\text{H}_2\text{SO}_3$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , altamente corrosivos para os compressores e motogeradores. Um dos processos utilizados na remoção de  $\text{H}_2\text{S}$  passa por injectar o biogás por uma coluna com meio de enchimento formado por aparas de madeira impregnadas em óxido de ferro hidratado.
- A presença de  $\text{CO}_2$  não danifica os equipamentos como os últimos dois, mas reduz a eficiência de produção de energia em consequência da redução do poder calorífico do biogás. A lavagem do biogás com água permite a remoção, por absorção, de dióxido de carbono e de sulfureto de hidrogénio, uma vez que a solubilidade destes gases em água é superior à do metano.
- A presença de siloxanos induz a formação de cristais de sílica prejudiciais para os equipamentos de co-geração. A sua remoção pode passar pela aplicação de processos de adsorção, absorção, hidrólise química, condensação, biofiltração ou de peroxidação.

### **c) Transformação em energia eléctrica e térmica**

A conversão da energia química contida no biogás em energia térmica ou eléctrica é possível através do processo de combustão. Para tal são geralmente utilizados grupos motogeradores que convertem a energia química do biogás através da sua combustão em energia eléctrica. Parte da energia térmica emitida na conversão do biogás em energia mecânica pode ser aproveitada pela recuperação dos gases de escape do motor e da água quente proveniente do sistema de arrefecimento.

## 10.4. Processos térmicos

### 10.4.1. Lagoas de evaporação natural

Nas lagoas de evaporação as águas ruças produzidas são armazenadas e em condições propícias de temperatura e humidade dá-se a evaporação da fase líquida. É um processo que embora seja simples tem associadas algumas precauções, nomeadamente pelos riscos de infiltração inerentes caso não exista um isolamento eficaz. Por forma a evitar a contaminação do solo, a zona basal bem como os taludes devem ser protegidos com uma barreira impermeável, constituída por solo de baixa permeabilidade e/ou por camadas de material geossintético.

Kavvadias, et al. (2012) avaliaram o efeito do armazenamento de águas ruças provenientes de um lagar com sistema de extracção de três fases numa lagoa de evaporação, e as repercussões que pode ter no solo em caso de infiltração. O estudo foi efectuado em Creta, Grécia, região caracterizada pelo seu clima Subtropical Mediterrânico. Verificaram que o conteúdo em carbonatos baixou e que as concentrações de iões cloro ( $\text{Cl}^-$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), amónia ( $\text{NH}_4^+$ ) aumentaram significativamente, tal como a condutividade eléctrica. Talvez fosse de esperar que o pH do solo diminuísse devido à acidez característica das águas ruças mas tal não se verificou devido à neutralização carbonatos presentes no solo. A aplicação de água ruça tem um efeito apenas temporário no pH do solo, o qual é restabelecido após 15 dias aproximadamente (Levi-Minzi, et al. 1992).

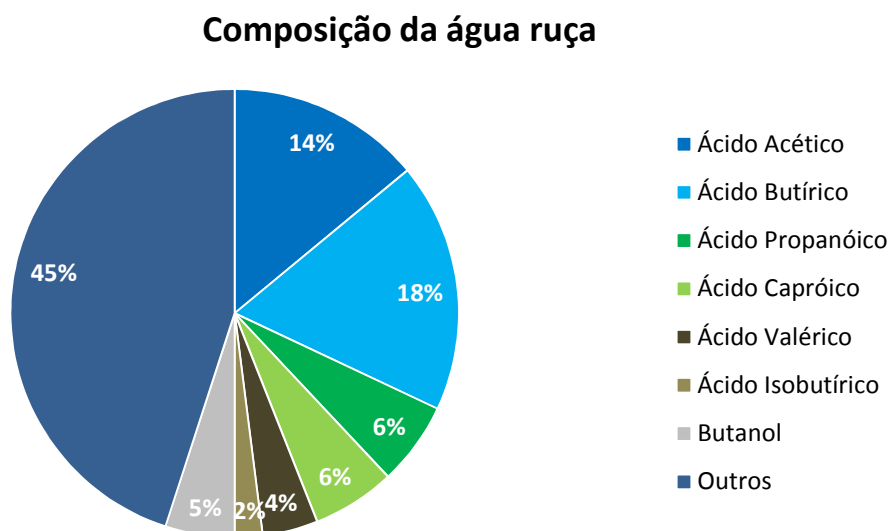
Apesar disto, a evaporação em lagoas é um método bastante comum de tratamento das águas ruças, devido ao baixo custo, quer de investimento quer de exploração, e da grande capacidade de adaptação a picos de caudal e de cargas afluentes. Como está sujeito às condições climatéricas locais, a sua utilização deve ser efectuada apenas em regiões de clima temperado a quente. Devido à natureza do processo, as lagoas não devem apresentar grandes profundidades, 1 m<sup>2</sup>/2,5 m<sup>3</sup> de água ruça, necessitando desta forma de elevadas áreas de implantação, sendo muitas vezes implementadas em superfícies adjacentes ao olival. A comunhão dos factores temperatura e área e também pelo facto da água estar em estagnação enquanto evapora, faz com que ocorram pontualmente cheiros desagradáveis e proliferação de insectos.





**Figura 10.1: Lagoa de evaporação (lagar A)**

Durante o armazenamento da água ruça nas lagoas dão-se inúmeras reacções de fermentação, resultando na formação de gases como o  $\text{CH}_4$ , levando á contaminação de todo o meio envolvente (água, ar e solo). Tal fenómeno leva a um grau de poluição do ar considerável, medindo-se analiticamente e sentindo-se os odores que daí emanam a relativamente grandes distancias, principalmente durante as campanhas. Le Verge, et al. (2004) analisaram a composição da água ruça armazenada entre campanhas e concluíram que o teor de CQO é praticamente 50% composto por AGV, como se observa na Figura 10.2.



**Figura 10.2: Composição percentual de uma amostra de água ruça após vários meses de armazenamento numa lagoa de evaporação**  
Adaptado de Niaounakis, et al. (2006)

A neutralização da água ruça como pré-tratamento antes mesma ser descarregada em lagoas de evaporação, como destino final, maximiza a retenção dos compostos orgânicos voláteis na fase sólida durante a evaporação, minimizando de alguma forma a emissão de maus cheiros (Niaounakis e Halvadakis 2006). Através de um tratamento prévio por neutralização, (Aktas, Imre e Ersoy 2001) conclui que a remoção de óleos e gorduras é elevada, pelo que se deixam de formar escumas à superfície, permitindo um melhor arejamento e uma maior eficiência de evaporação.

Por cada duas toneladas de azeitonas processadas é necessário  $1\text{m}^3$  de volume de lagoa para o armazenamento e evaporação da água ruça produzida. Após a evaporação fica um resíduo, que pode ser utilizado como fertilizante orgânico, ou após compostagem como correctivo orgânico do solo (Kasirga 1988). Este resíduo possui uma humidade da ordem dos 3,5 %, com 85% de matéria orgânica e contém 10% de gordura na matéria seca. Outra propriedade é o seu poder calorífico de 5.000 a 6.000kcal/kg, o que significa que pode ser utilizado como combustível na produção de energia eléctrica, por exemplo, no auto-sustento do lagar (Civantos 1999).

### **10.4.2. Evaporação forçada**

Através da evaporação forçada, consegue-se uma maior eficiência do que nas lagoas de evaporação natural, com a vantagem adicional de necessitar de menores áreas para a instalação e de um menor tempo de evaporação, mas com a contrapartida de se terem custos de instalação e operação.

Com o objectivo de aumentar a área de evaporação, são utilizados painéis com uma superfície específica elevada, convenientemente orientados em relação ao sol e aos ventos dominantes, sobre os quais a água ruça é pulverizada. O recurso à evaporação forçada pode ser também concretizado através da utilização de uma bomba hidráulica, que funcionando à superfície da lagoa projecta a água ruça à semelhança de um sistema de rega por aspersão.

## **10.5. Valorização da água ruça como fertilizante de solos**

De acordo com o Despacho Conjunto 626/2000 de 6 de Junho, presente no Diário da República - II Série, nº 131 de 06 de Junho, “no âmbito das soluções possíveis para o destino das águas ruças dos lagares de azeite, a aplicação nos solos representa uma opção susceptível de trazer benefícios ao nível agrícola, constituindo uma prática já utilizada noutros países produtores de azeite, nomeadamente da Europa Mediterrânica”.

A água ruça apresenta matéria orgânica em elevadas concentrações e compostos minerais com propriedades fertilizantes, o que leva a que seja considerada benéfica a aplicação controlada deste produto no solo.

Várias fontes, segundo Azbar, et al. (2004), afirmam que o uso de água ruça na rega em culturas como oliveiras, videiras, em plantações de milho ou girassóis, tem efeitos benéficos mas a sua aplicação deve ser feita apenas após a avaliação dos impactes ambientais que pode provocar a nível do solo e das culturas. De acordo com Dimicheli, et al. (1996), foi feita uma avaliação das implicações da aplicação de água ruça em solos calcários. Com uma aplicação anual de  $1.000 \text{ m}^3/\text{ha}$ , resultou um aumento benéfico de matéria orgânica no solo, bem como de azoto total e solúvel e fósforo e sais disponíveis. Por outro lado, houve implicações indesejáveis, tendo-se verificado um aumento da mobilidade de metais pesados e lixiviação de iões sódio e nitrato. Na aplicação de  $100 \text{ m}^3/\text{ha}$ , o solo teve um comportamento semelhante a um biofiltro.

O impacto deste tipo de efluente na estrutura do solo é também muito importante de ser avaliado. O trabalho de Mahmoud, et al. (2010) teve como objectivo verificar os efeitos na hidrofobicidade, condutividade hidráulica e taxa de infiltração no solo, quando regado com água ruça. As análises foram feitas a solos do tipo Cambissolo, caracterizados pelo cultivo de oliveiras, de 0 a 30, 30 a 60 e de 60 a 90 cm de profundidade, e com um grau de humidade abaixo do de saturação. Foram identificados três áreas sujeitas a condições de rega diferentes: uma que não era regada com água ruça (controlo) e outras duas que foram regadas regularmente com água ruça durante cinco anos e quinze anos. Como seria de esperar, o conteúdo em carbono orgânico e azoto aumentou, bem com o rácio C/N, apresentando um efeito benéfico na fertilidade do solo. A aplicação regular de água ruça no solo fez aumentar sua hidrofobicidade e diminuir a porosidade a valores inferiores a  $30 \mu\text{m}$  e a condutividade hidráulica, comparando os respectivos resultados com os verificados no controlo. Observou-se que a taxa de infiltração foi superior no terceiro tipo de solo devido á formação de rachas.

O estudo de Piotrowska, et al. (2006) teve como objectivo a monitorização durante 42 dias de várias características físicas, químicas, bioquímicas e biológicas de um solo franco-argiloso-arenoso (argila 32%, areia 45%, silte 23%) da zona de Marraquexe, Marrocos, regado com água ruça. As amostras de solo foram regadas separadamente com água ruça num volume de 0,18 e 36 mL/100g de solo, correspondendo a 0,4 e  $80 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Foi igualmente monitorizado a capacidade de sementes de tomate germinarem quando sujeitas a rega com água ruça. Após a análise dos resultados as conclusões foram que algumas das alterações foram somente temporárias como por exemplo, o decréscimo do valor de pH, o aumento do teor de P disponível e o decréscimo do índice de germinação das culturas. Foram observadas alterações de carácter permanente no decréscimo dos teores de Ca e de Mg,

provavelmente relacionadas com a acidez da água ruça e o aumento nos teores de K, Fe e Mn. O impacto da água ruça nas propriedades do solo resulta fundamentalmente do balanço entre o benefício e a toxicidade dos compostos presentes, os quais podem variar muito consoante a natureza da água ruça utilizada.

De acordo com a revisão bibliográfica efectuada, a aplicação de águas ruças ao solo como correctivo, está limitada pelos efeitos negativos que poderá ter sobre a estrutura e fertilidade do solo, pela toxicidade de alguns dos seus componentes e pelo risco de contaminação dos aquíferos. Para minimizar tais consequências, o recurso ao pré-tratamento, por exemplo como a diluição ou a neutralização com cal, pode permitir a sua viabilidade.

Os solos mais indicados para aplicação de águas ruças são os ricos em carbonatos e com pH alcalino. Em solos ácidos ou arenosos, pobres em bases, a rega com água ruça pode degradar a sua estrutura e provocar graves desequilíbrios nutricionais. Ao regar com água ruça, há que ter em conta que se fornece ao solo uma elevada quantidade de carbono orgânico que favorece a imobilização do azoto inorgânico. Por isso, recomenda-se o aumento da aplicação de azoto à cultura que vier a ser instalada (Civantos 1999).

Caso o destino final da água ruça produzida seja a rega de solos agrícolas, a nível nacional, o responsável pelo lagar terá de seguir as imposições referidas no Despacho Conjunto 626/2000 de 6 de Junho, resumidas no Capítulo 8.2.

As características quantitativas e qualitativas das águas ruças variam muito, dependendo do método de extracção de azeite utilizado. A quantidade de efluente varia entre 0,05 a 0,7 m<sup>3</sup>/ton de azeitona laborada em lagares tradicionais e entre 0,9 e 1,5 m<sup>3</sup>/ton em lagares cujo sistema de extracção é contínuo de três fases (Azbar, et al. 2004).

Utilizando os valores mais desfavoráveis, 0,7 e 1,5 m<sup>3</sup>/ton, e tendo em conta que Portugal laborou 34.458 e 77.369 toneladas de azeitona em 2010 por sistemas tradicionais e de três fases, respectivamente, dir-se-ia que se produziram neste mesmo período cerca de 140.174,1 m<sup>3</sup> de águas ruças. Tendo em conta o imposto pelo anterior despacho, ao aplicar o máximo permitido de 80 m<sup>3</sup>/ha de água ruça para rega de solos agrícolas, com a referida produção poderiam regar-se cerca de 1.752,18 ha, sendo esta área apenas 0,51% de 343.219ha de olival contabilizados em 2010 pelo INE.

## 10.6. Recuperação de compostos fenólicos

A concentração de fenóis nas águas ruças constitui o maior problema de toxicidade relativamente à actividade bacteriana, quando descarregada em meios naturais. No entanto, a esta classe de compostos são atribuídas propriedades fortemente antioxidantes, o que leva a que a água ruça seja uma potencial fonte de antioxidantes naturais. Um composto antioxidante é definido como sendo uma substância que, presente em baixas concentrações comparativamente com o substrato oxidável, previne ou atrasa a reacção de oxidação (Coskun, Debik e Demir 2010). No meio receptor, o processo em que a biomassa, através da respiração aeróbia ou anaeróbia, converte a matéria orgânica contida na água residual em substâncias mais simples, é parcial ou totalmente inactivado.

No azeite, e consequentemente na água ruça, os compostos fenólicos abrangem uma grande variedade química entre os quais se encontram secoiridoides (sendo a oleuropeína a mais característica deste grupo), álcoois fenólicos, flavonas, linhanos, ácidos fenólicos e hidroxí-cromanos. A oleuropeína está presente na azeitona, à razão de 20 a 100 mg/g de extracto seco sendo responsável pelo gosto amargo das azeitonas verdes, verificando-se que o seu teor diminui com o processo de maturação, como em quantidades que variam de 0,001 a 11 mg/kg de azeite (Georgacakis e Dalis 1993, Niaounakis e Halvadakis 2006).

A hidrólise da oleuropeína dá origem a um grupo indeterminado de derivados, entre os quais os álcoois fenólicos como o tirosol (4-hidroxifeniletanol) e o hidroxitirosol (3,4-di-hidroxifeniletanol), como consequência da quebra de ligações éster da primeira. Estes são altamente resistentes à degradação por exposição enzimática e bacteriológica, tendo uma natureza severamente poluente (Mitrakas, et al. 1996).

A bibliografia refere igualmente as propriedades antimicrobianas, antioxidantes, antihipertensivos, anticancerígenos deste grupo de compostos. As indústrias, nomeadamente alimentar, cosmética e farmacêutica, podem ver a indústria da produção de azeite como fonte destas substâncias. Hoje em dia, estas indústrias ainda recorrem muito aos antioxidantes sintéticos especialmente ao hidroxibutiltolueno ou BHA (E-321), o hidroxibutilanisol ou BHT (E-320) e terc-butil-hidroquinona ou TBHQ. A sua presença nos alimentos alarga o prazo de validade e minimiza a oxidação lipídica. Em consequência da crescente preocupação e também, face ao conjunto significativo de documentos legais publicados, relativos aos constituintes nos produtos alimentares, a incorporação de antioxidantes naturais invés de sintéticos tem vindo a aumentar.



## 11. OPÇÕES DE TRATAMENTO

---

Em Portugal, devido ao grande número de pequenos lagares em exploração, ao facto destes estarem geograficamente dispersos e à sazonalidade da produção, muitas das soluções de tratamento possíveis não parecem constituir alternativas técnico-economicamente razoáveis.

De acordo com a revisão bibliográfica efectuada constata-se que a informação relacionada com a viabilidade económica das várias opções de tratamento possíveis, é escassa. De facto, a informação disponível é referente apenas a vários períodos ou campanhas, por vezes associados a custos de operação, capacidade de produção, disponibilidade de água e sistemas de extracção diferentes e com a existência ou não de pré-tratamentos, não abordando a sustentabilidade do ou dos processos de tratamento.

O tratamento eficiente de águas ruças a um custo razoável requer geralmente a combinação de vários processos físicos, químicos e biológicos. Processos como a separação por membranas, filtração, adsorção, coagulação ou sedimentação são operações que podem ser equacionadas como pré-tratamento para a remoção de sólidos, cor, odores e, ou de compostos fenólicos, reduzindo eficazmente a carga poluente inicial. No entanto, o efluente não vai ao encontro das normas de qualidade requeridas para a descarga no meio hídrico ou nos colectores municipais.

Na tabela seguinte referem-se as principais características de cada uma das alternativas de tratamento abordadas neste trabalho. A sua compilação teve como objectivo permitir ter uma imagem do conjunto das várias opções de tratamento por forma a avaliar qual ou quais daquelas se apresentam como sendo mais adequadas ao tratamento de águas ruças. Na coluna das observações apresentam-se algumas particularidades de cada uma das operações /processos, sendo avaliadas como positivas com um marcador verde ou negativas com um marcador vermelho, fundamentais para a avaliação da viabilidade da operação ou processo.

Tabela 11.1.1: Principais características dos processos físicos, físico-químicos, biológicos e térmicos elegíveis para o tratamento de águas ruças

Principais operações e processos	Características			Observações	Viabilidade
	Custo de investimento	Custo de exploração	Eficiência de remoção		
Sedimentação gravítica	Médio	Reduzido	Reduzido	<div></div> Processo lento uma vez decorre da acção da gravidade	Não viável
	Médio	Elevado	Reduzido	<div></div> Possibilidade de recuperação de óleos e gorduras com possível valorização	Não viável
Flotação	Médio	Elevado	Reduzido	<div></div> Consumo energético bastante elevado devido à injeção permanente de ar pressurizado	Não viável
				<div></div> Eficiências de remoção muito reduzidas da CQO, SDT e compostos fendólicos	
				<div></div> Eficiências de remoção de óleos e gorduras medianas	
Filtração por membranas	Elevado	Elevado	Elevado	<div></div> Custos de operação associados ao consumo energético e proporcional à pressão de operação	Viável
				<div></div> Custos de manutenção elevados devido colmatção das membranas	
				<div></div> Possível valorização do concentrado	
Neutralização	Elevado	Elevado	Reduzido	<div></div> Custos de operação bastante elevados devido ao consumo de reagentes	Não viável
				<div></div> Neutralização do pH o que permite a utilização do efluente na rega de solos agrícolas	
				<div></div> Viável como pré-tratamento às lagoas de evaporação devido à redução de AGV	
Coagulação/ floculação	Elevado	Elevado	Médio	<div></div> Custos de operação bastante elevados devido ao consumo de reagentes	Não viável
				<div></div> Aplicação de cal e compostos férricos não inibe o processo biológico	
				<div></div> Necessidade de Jar Test para a manutenção das condições óptimas de operação	
				<div></div> Viável como pré-tratamento às lagoas de evaporação devido à redução de AGV	
Adsorção	Médio	Elevado	Médio	<div></div> Custos de operação elevados devido ao consumo de reagentes	Não viável
				<div></div> O carvão activado pode ser obtido a partir de caroços de azeitona o que reduz os custos de operação	
				<div></div> Não sendo regenerativo pode ser facilmente incinerado	
Oxidação química	Elevado	Elevado	Médio	<div></div> Custos de operação elevados devido ao consumo de reagentes e de energia eléctrica	Não viável
				<div></div> Reagentes com grande reactividade e propriedades corrosivas	
				<div></div> Tempo de contacto reduzido	



Principais operações e processos	Características			Observações	Viabilidade
	Custo de investimento	Custo de exploração	Eficiência de remoção		
Digestão anaeróbia	Elevado	Reduzido	Elevado	Arranque da operação lento e supervisionamento por parte de técnicos especializados	Viável
				Reduzida produção de lamas	
				Controlo das emissões gasosas	
				Possível valorização do biogás	
Oxidação aeróbia	Elevado	Elevado	Médio	Custos de operação associados ao consumo energético	Não viável
				Arranque da operação lento e supervisionamento por parte de técnicos especializados	
				Necessidade de pré-diluição	
				Leitos percoladores com propensão à colmatção do meio filtrante	
				Discos biológicos susceptíveis a problemas mecânicos	
				Lamas activadas susceptíveis a choques de carga orgânica e com grande produção de lamas	
				Reactores sequenciais descontínuos com custos de investimento e operação elevados	
Evaporação natural	Elevado	Reduzido	-	Riscos de infiltração associados	Viável
				Presença de odores e mosquitos	
				Quando selada há a possibilidade de aproveitamento de biogás para posterior valorização	
				Eliminação completa do efluente líquido	
Evaporação forçada	Elevado	Médio	-	Sem grandes vantagens em relação à evaporação natural	Não viável

A análise da tabela anterior permitiu identificar três operações/processos, como sendo viáveis para o tratamento de águas ruças, tendo sido privilegiada a característica “eficiência de remoção”, independentemente dos custos de investimento e de operação.

De facto, a digestão anaeróbia e a filtração por membranas apresentam as maiores eficiências de remoção de todas as soluções de tratamento abordadas, sendo igualmente um possível retorno financeiro pela valorização dos subprodutos gerados em cada um dos processos, por forma a que o investimento feito possa ser justificado.

Por outro lado, a lagoa de evaporação, constitui a solução mais prática e económica de todas. De facto, as soluções de tratamento das águas ruças que são comumente utilizadas nos principais países produtores de azeite incluem as lagoas de evaporação ou reservatórios de armazenamento para posterior rega entre campanhas. A primeira é mais comum uma vez que os seus custos de investimento não são muito elevados e os custos de operação são praticamente nulos. Em condições climatéricas propícias, a total evaporação da água ruça faz com que o resíduo sólido remanescente seja o único subproduto a necessitar de uma gestão apropriada. Para a aplicação da água ruça na rega de solos, a necessidade de um reservatório para o seu armazenamento diminui bastante os custos de investimento mas a necessidade de neutralizar o efluente vai encarecer os custos de operação.

## 12. CASO DE ESTUDO

No decorrer desta dissertação foram efectuados alguns contactos para lagares com o objectivo de obter informações sobre o processo de extracção e quais as opções de tratamento adoptadas, entre outras. Uma vez que esta dissertação coincidiu com o período entre campanhas, a disponibilidade por parte das entidades contactadas foi muito pouca ou mesmo nula.

O lagar A, de pequena dimensão, foi o único que se mostrou disponível para fornecer algumas informações, tendo sido adoptado um processo de tratamento das águas ruças com recurso a uma lagoa de evaporação. Os dados disponibilizados por este incluem:

**Tabela 12.1: Quantidades de azeitona laborada, azeite e bagaço produzidas em 2010 e 2011 pelo lagar A**

	Quantidade	2010	2011
Azeitona laborada	kg	1.900.853	2.287.913
Azeite extraído	kg	250.987	341.813
Bagaço produzido	kg	1.456.753	1.972.900

**Tabela 12.2: Preços de venda de azeite e bagaço pelo lagar A**

	Unidade	Preço
Azeite	€/kg	2.20
Bagaço	€/kg	1.85

Em relação ao lagar B, caracterizado por ter produções extremamente elevadas, a única informação disponibilizada foi a capacidade máxima de laboração, a qual é cerca de 25.000 ton/campanha, e que a solução de tratamento das águas ruças é igualmente através de uma lagoa de evaporação.

No lagar A, antes da descarga da água ruça na lagoa de evaporação é efectuada uma remoção de gorduras. O intuito deste processo não está relacionada com a optimização do processo de evaporação, mas sim com a venda dos óleos e gorduras que é uma fonte de rendimento para o lagar. A Figura 12.1 mostra o tanque tricompartimentado, existente no lagar A, por onde a água ruça passa a uma velocidade muito reduzida de modo a que os óleos e as gorduras ascendam à superfície para serem posteriormente extraídos.



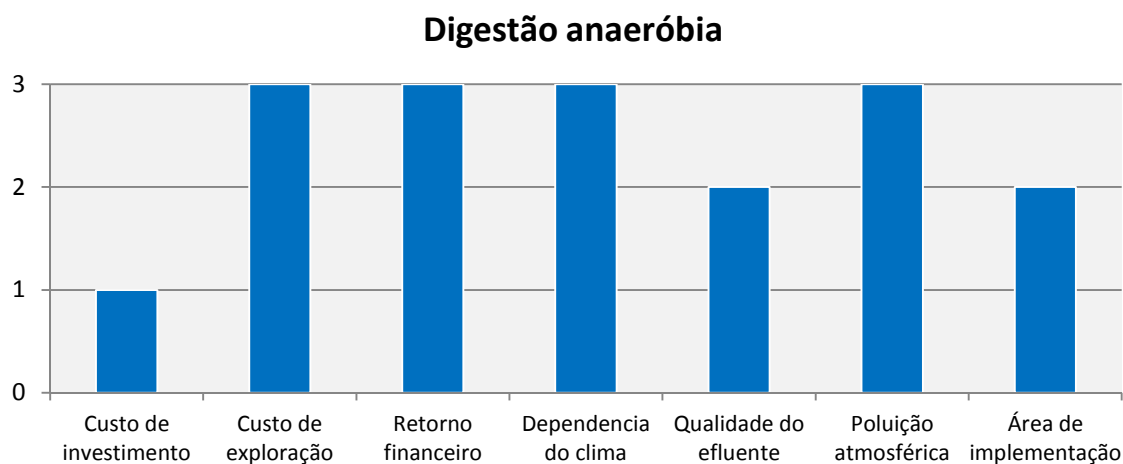
**Figura 12.1: Tanque para aproveitamento de gorduras (lagar A)**

O caso de estudo desenvolvido nesta dissertação teve como objectivo uma descrição qualitativa dos três processos de tratamento identificados no capítulo anterior – digestão anaeróbia, filtração por membranas e lagoas de evaporação – tendo sido efectuada uma análise multicritério que se encontra na Tabela 12.3. A atribuição de valores verbais aos critérios que se encontram na matriz é efectuada numa escala de três pontos, onde 1 significa ‘Mau’, 2 é ‘Satisfatório’ e 3 representa ‘Muito bom’. De acordo com EVALSED (2008), por forma a proceder-se a uma avaliação eficaz, o número de critérios não deve ser superior a oito. Os critérios seleccionados para proceder à avaliação dos diferentes processos foram divididos em eficiência económica, dependência do clima, impactes ambientais, área de implementação e impactes sociais.

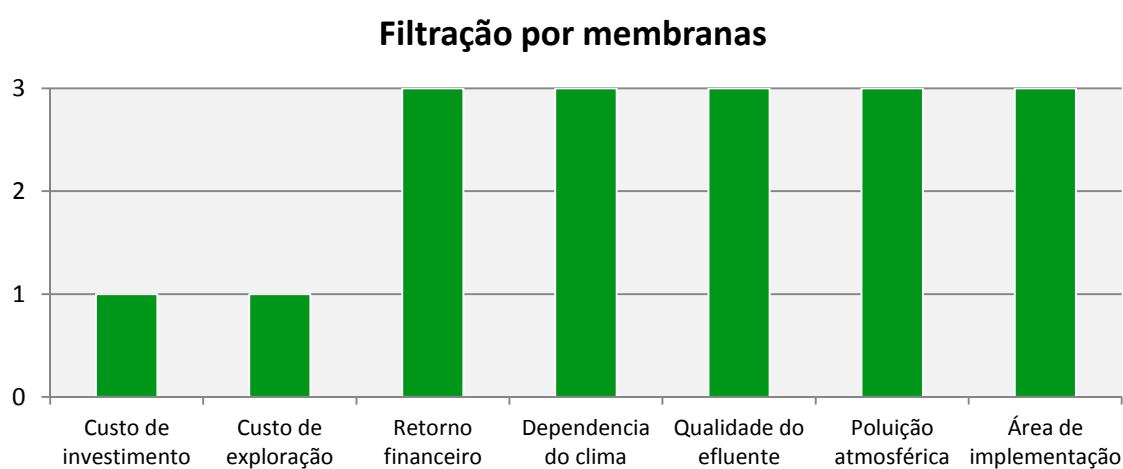
Tabela 12.3: Avaliação multicritério das melhores opções de tratamento identificadas (digestão anaeróbia, filtração por membranas e lagoa de evaporação)

Parâmetros de avaliação		Digestão anaeróbia		Filtração por membranas		Lagoa de evaporação	
		Descrição	Pont.	Descrição	Pont.	Descrição	Pont.
Eficiência económica	<b>Custo de investimento</b>	Custos de desmatação e escavação Custos com a construção civil do próprio reactor Equipamento para aproveitamento do biogás e respectiva instalação	<b>1</b>	Preço do equipamento e respectiva instalação	<b>1</b>	Custos de desmatação, escavação e impermeabilização	<b>2</b>
	<b>Custo de exploração</b>	Produção de energia térmica suprime as necessidades do reactor	<b>3</b>	Consumo energético aumenta proporcionalmente à pressão exercida na operação (de MF a OI)	<b>1</b>	Praticamente inexistente	<b>3</b>
	<b>Retorno financeiro</b>	Consumo da energia eléctrica produzida pelo próprio lagar Possível venda de energia eléctrica à rede	<b>3</b>	Através do recurso à UF é possível valorizar a fracção de nutrientes Através do recurso à OI é possível valorizar a fracção de fitotóxicos	<b>3</b>	Praticamente inexistente	<b>1</b>
<b>Dependência do clima</b>		Temperaturas do ar e do solo afectam as perdas de energia do digestor	<b>3</b>	O clima não tem qualquer interferência na eficiência do tratamento	<b>3</b>	Directamente condicionado pela temperatura e humidade do ar	<b>1</b>
Impactes ambientais	<b>Qualidade do efluente</b>	Qualidade satisfatória podendo ser utilizado na rega ou descarregado em lagoas de evaporação	<b>2</b>	Efluente de alta qualidade Elevadas eficiências de remoção de substâncias orgânicas e inorgânicas associadas	<b>3</b>	O efluente é totalmente evaporado	<b>3</b>
	<b>Poliuição atmosférica</b>	Com o aproveitamento do biogás não há qualquer emissão de poluentes	<b>3</b>	Sem qualquer produção de gases poluentes	<b>3</b>	Produção de odores e proliferação de mosquitos	<b>1</b>
<b>Área de implementação</b>		Depende do caudal das águas ruças a tratar	<b>2</b>	Tecnologia relativamente compacta	<b>3</b>	Área de implementação elevada pois implica altura reduzida e depende do caudal de águas ruças	<b>1</b>
<b>Impactes sociais</b>		Tecnologia complexa para pequenos produtores Presença de técnicos especializados	<b>1</b>	Tecnologia complexa para pequenos produtores Presença de técnicos especializados	<b>1</b>	Inexistente	<b>3</b>
<b>Somatório</b>			<b>18</b>		<b>18</b>		<b>15</b>

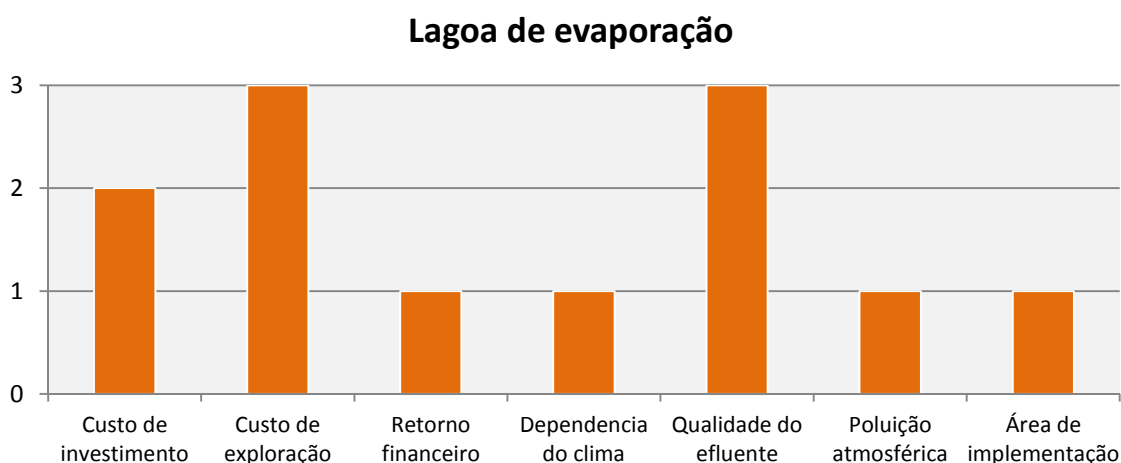
Nas figuras 12.2, 12.3 e 12.4 apresentam-se as pontuações obtidas após a avaliação multicritério das três soluções de tratamento apresentadas na Tabela 12.3.



**Figura 12.2: Pontuação obtida após a avaliação multicritério pela digestão anaeróbia**



**Figura 12.3: Pontuação obtida após a avaliação multicritério para a filtração por membranas**



**Figura 12.4: Pontuação obtida após a avaliação multicritério para a lagoa de evaporação**

A análise dos valores obtidos permite concluir que a digestão anaeróbia e a filtração por membranas constituem as alternativas mais indicadas para o tratamento deste tipo de efluente, pelo facto de estarem associadas à valorização dos subprodutos, de serem completamente independentes das condições climáticas, não permitirem a contaminação do ambiente envolvente e de requererem áreas de implementação inferiores à das lagoas de evaporação.

No entanto, embora a digestão anaeróbia e a filtração por membranas apresentarem eficiências de remoção bastante elevadas, não é possível afirmar que o recurso a qualquer destas soluções é suficiente para que o efluente apresente uma qualidade tal, que seja permitida a sua descarga no meio hídrico ou nos colectores municipais. Há que se ter igualmente em consideração se o retorno financeiro permite justificar o investimento feito.

Desta forma, foi efectuada uma simulação do retorno financeiro que dois lagares poderiam ter caso optassem por um tratamento por digestão anaeróbia incluindo-se uma lagoa de evaporação como destino final. Relativamente à filtração por membranas, a sua aplicação aos dois cenários em estudo teve uma abordagem diferente e justificada no Capítulo 12.2.

### 12.1. Tratamento por digestão anaeróbia

Na presente dissertação desenvolveu-se um cenário que teve como objectivo determinar o potencial de produção de biogás através do processo de digestão anaeróbia das águas ruças para os dois lagares considerados. A realização deste cenário permitiu estimar a produção de energia eléctrica para cada lagar, o potencial económico associado ao tratamento do seu efluente e o retorno do investimento no caso da venda desta energia à rede eléctrica nacional (REN). De acordo com Sousa (2009), a tarifa renovável assumida para energia eléctrica produzida através do biogás é de 110,17 €/MWh, determinada a partir da equação de remuneração apresentada no Decreto-Lei nº225/2007.

O primeiro passo no desenvolvimento do cenário teve como objectivo determinar a energia produzida a partir do aproveitamento do biogás. Segundo Ramos-Cormenzana (1995), a produção de biogás consequente do tratamento de águas ruças é de  $30 \text{ m}^3/\text{m}^3$  afluente ao reactor. Considerando o caudal afluente característico de cada um dos lagares em estudo foi estimada a energia produzida com base no caudal de  $\text{CH}_4$ , admitindo-se o poder calorífico do mesmo de  $8550 \text{ kcal}/\text{m}^3$  (Metcalf&Eddy 2004).

As necessidades térmicas do reactor foram estimadas admitindo que o peso específico da água ruça é de  $1.020 \text{ kg}/\text{m}^3$  e que o calor específico é de  $1,02 \text{ kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}$ . Os coeficientes de transferência térmica do reactor admitidos foram de 0,781, 0,586 e  $0,733 \text{ kcal}/^\circ\text{C}.\text{m}^2$  para o ar, para a terra seca envolvente ao reactor e para a soleira, respectivamente (Metcalf&Eddy 2004). Assumiu-se igualmente que a temperatura do ar seria de  $15^\circ\text{C}$ , do solo de  $5^\circ\text{C}$ , abaixo da soleira de  $10^\circ\text{C}$ , que o efluente à entrada seria de  $15^\circ\text{C}$  e que o interior do reactor estaria a  $35^\circ\text{C}$ .

Caso o balanço da energia térmica seja positivo, o reactor considera-se auto-sustentável, sendo viável a sua operação, com a opção de aproveitamento de energia eléctrica com recurso a um sistema de co-geração. Desta forma é possível estimar-se a receita proveniente da venda de energia eléctrica à REN. Segundo Metcalf&Eddy (2004), admite-se que cerca de 30% da energia produzida pela valorização do biogás pode ser convertida em energia eléctrica e que cerca de 60% desta última se destina a consumo próprio. O preço de venda de energia eléctrica à rede é de 110,17 €/MWh determinado a partir da equação de remuneração apresentada no Decreto-Lei nº225/2007.

Por forma a estimar o período de retorno do investimento para cada um dos casos foi necessária uma avaliação dos custos de investimento e de operação inerentes ao processo. Foram considerados os custos associados à construção civil e aos equipamentos electromecânicos de co-geração. Relativamente aos custos de operação e manutenção, admitiu-se que representam 3% ao ano do capital fixo referente aos custos de investimento no reactor e nos respectivos equipamentos electromecânicos.



Considerando que o efluente tratado não se apresenta em condições de descarga no meio hídrico ou na rede de colectores municipal, foi estimado igualmente o investimento associado a uma lagoa de evaporação tendo em conta o caudal de sobrenadante do digestor anaeróbio. Segundo a revisão bibliográfica, a dimensão de uma lagoa de evaporação deverá seguir a razão de  $1 \text{ m}^2/2,5 \text{ m}^3$  de água ruça. Foram igualmente considerados os valores de  $6,30 \text{ €/m}^2$  de geocompósito bentonítico e de  $4,24 \text{ €/m}^2$  de geomembrana em PEAD de 2,0 mm (Cabeças 2012).

De acordo com as considerações anteriores, resumem-se na Tabela 12.4 os resultados obtidos para os dois cenários considerados (lagar A e lagar B) durante o desenvolvimento do caso de estudo.

Tabela 12.4: Resultados obtidos da simulação da aplicabilidade da digestão anaeróbia como tratamento das águas ruças do lagar A e lagar B

Parâmetros	Unidades	Lagar A	Lagar B
Energia produzida a partir da valorização do biogás			
Duração da campanha	dias	70	212
Caudal afluente de águas ruças	m <sup>3</sup> /dia	38,5	138,7
Caudal de sobrenadante encaminhado para lagoa de evaporação	m <sup>3</sup> /dia	24,8	88,9
Tempo de retenção	dias	10	10
Volume do reator	m <sup>3</sup>	385	1.387
Caudal de CH <sub>4</sub>	m <sup>3</sup> /dia	750,8	2.704,70
Energia total produzida	kcal/dia	6.419.340	23.124.757,50
Energia térmica produzida	kcal/dia	3.209.670	11.562.378,80
Energia eléctrica produzida	kcal/dia	1.925.802	6.937.427,30
Perdas de energia	kcal/dia	1.283.868	4.624.951,50
Necessidades térmicas do reator			
Necessidades de aquecimento	kcal/dia	801.108	2.886.069,60
Queda de temperatura	°C/dia	2,2	2
Necessidades térmicas do reator	kcal/dia	1.699.994,40	5.824.652,70
Balanço da energia térmica	kcal/dia	1.509.461,90	5.737.726,10
Receita pela venda de energia eléctrica produzida à rede eléctrica nacional			
Energia eléctrica produzida	kWh/dia	2.239,70	8.068,20
Receita pela venda de energia eléctrica	€/campanha	6.898	75.260
Custos de investimento no reator e na lagoa de evaporação			
Custos de construção civil do reator	€	37.170	97.140
Custos em equipamentos electromecânicos	€	44.604	116.568
Desmatção, modelação e escavação da lagoa	€	29.000	176.145
Impermeabilização da lagoa de evaporação com uma camada de geocompósito bentonítico e uma geomembrana em PEAD de 2,0 mm	€	14.540	89.283
Custo total do investimento	€	125.314	479.136
Custos de operação e manutenção do reator			
Custos de operação e manutenção	€/ano	2.453	6.411,20
Período de retorno			
Custo total do investimento no reator e no sistema de co-geração	€	81.774	213.708
Receita pela venda de energia eléctrica	€/campanha	6.896	75.260
Período de retorno	campanhas	11,9	2,8

### 12.1.1. Considerações acerca da viabilidade da digestão anaeróbia

Da análise dos resultados obtidos, verificou-se que se o produtor de azeite optar pelo tratamento das águas ruças produzidas no seu lagar pode obter um lucro bastante aliciante. A produção de biogás e o seu aproveitamento em energia térmica e eléctrica acarreta algumas condições técnicas que podem condicionar a sua aplicação. Alguns dos aspectos que influenciam a decisão de se utilizar o processo de digestão anaeróbia no tratamento de águas ruças, decorre, não no processo em si mas no que a sua aplicação envolve, isto é:

- O recurso à digestão anaeróbia obriga ao respeito por inúmeras condições de segurança;
- Pelo facto de esta indústria ser sazonal, todo o equipamento está parado entre campanhas. Durante a fase de inactivação, não há produção de biogás e consequentemente não há possibilidade de venda de energia eléctrica;
- Lagares pequenos como o caso do lagar A, estariam sem produzir durante nove meses por ano, investindo em equipamentos que necessitam de manutenção e que não estão a utilizar;
- O período de tempo de arranque de um digestor anaeróbio é bastante alargado devido à inoculação do reator repercutindo-se numa gestão técnica complexa e individualizada antes do início da própria campanha;
- A presença de um técnico especializado é obrigatória. Todo o processo deve ser controlado por forma a haver o devido tratamento da água ruça e consequentemente maximizar ao máximo a produção de biogás;
- A instalação de uma unidade de produção de biogás obriga todo um sistema complexo de purificação do biogás e de produção energia térmica, eléctrica ou ambas.

Estes aspectos fazem com que o tratamento das águas ruças por digestão anaeróbia não possa ser considerada uma opção viável, mesmo que a sua aplicação em indústrias sazonais seja possível mediante uma gestão técnica complexa. O investimento exigido em reactores de produção de biogás e a necessidade de adequado acompanhamento técnico tornam difícil a aplicação deste processo de tratamento especialmente em lagares de pequena dimensão. É de facto economicamente vantajoso durante o período de produção mas este é relativamente curto. As contrapartidas inerentes têm grande peso e não compensam toda a gestão necessária.

## 12.2. Tratamento por filtração por membranas

Esta opção poderá ser bastante interessante sob o ponto de vista da qualidade do efluente. Na revisão bibliográfica, várias foram as fontes que indicavam não só a eficiência deste processo no tratamento de águas ruças (embora à escala laboratorial), bem como davam ênfase à possível valorização de certos compostos.

A título de exemplo, Arvaniti, et al. (2012) estudaram a possibilidade de implementar uma estação central de tratamento de águas ruças equipada com um sistema de filtração por membranas (ultrafiltração seguida de osmose inversa). Na área estão localizados cerca de 50 lagares de pequena produção na periferia de um parque industrial, local indicado para a implementação de uma unidade de tratamento de águas ruças. A informação do estudo técnico-económico efectuado referente ao sistema de filtração por membranas aplicada ao caso apresenta-se na Tabela 12.5.

**Tabela 12.5: Características associadas à aplicabilidade do sistema de filtração por membranas**

<b>Características</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Caudal afluente	L/h	10.000
Caudal do permeado	L/h	8.000
Remoção de CQO	%	99,5
Remoção de óleos e gorduras	%	99,99
Remoção de matéria seca	%	99,5
Custo de investimento e instalação de equipamento	€	1.345.000
Tempo de vida útil do equipamento	Anos	10
Custo de construção do edificado	€	345.000
Capital de investimento	€	1.690.000
Custo de operação	€/ano	1.535.740

**Adaptado de Arvaniti, et al. (2012)**

O caudal afluente é estimado em 50.000 ton/ano que após tratamento pode ser reutilizado em processos industriais aplicada na rega de solos agrícolas.

O investimento de uma estação desta dimensão é bastante elevado, mas como se trata de uma indústria que produz compostos valorizáveis, pode tornar-se um negócio bastante rentável. A recuperação da fracção de nutrientes no processo de UF pode resultar na aplicação em compostos fertilizantes ou em rações animais, que vendida a um preço estimado na ordem de 100 €/ton de concentrado, origina uma receita de 250.000 €/ano. A recuperação da fracção de constituintes tóxicos através da OI, devido ao seu enorme potencial como herbicida ou pela sua aplicabilidade na indústria dos cosméticos pelo poder antioxidante que apresenta, considera-se como uma receita

substancial no balanço financeiro desta unidade. Tendo-se estimado a venda a 500 €/ton, esta componente converte-se numa receita em cerca de 3.750.000 €/ano.

O tratamento de águas ruças por processos de filtração por membranas pode ser um negócio financeiramente aliciante segundo o estudo anterior. O custo de investimento para a faixa de caudais a tratar pelo lagar A e pelo lagar B foram estimados, segundo uma empresa fornecedora desta tecnologia, e apresentados na Tabela 12.6.

**Tabela 12.6: Características dos sistemas de filtração por membranas aplicáveis ao lagar A e lagar B**

	<b>Unidades</b>	<b>Lagar A</b>	<b>Lagar B</b>
Caudal admitido (OI)	L/h	5	17
Horas em funcionamento	h/dia	8	8
Caudal admitido (OI)	L/dia	40	136
Custo de aquisição (OI)	€	40.000	100.000
Custo de aquisição (UF)	€	50.000	125.000
Custo total do investimento	€	90.000	225.000

De acordo com a revisão bibliográfica efectuada, o tratamento de águas ruças é estudado geralmente à escala piloto, como é o caso de Arvaniti, et al. (2012). Os autores concluem que é uma opção que pode ser bastante lucrativa, mas aplicada apenas a lagares de grande dimensão ou a unidades de tratamento centralizadas.

O tratamento com recurso a um processo de filtração por membranas não só tem custos de aquisição bastante elevados como apresenta custos de operação e manutenção igualmente elevados. As águas ruças apresentam teores em óleos, gorduras e sólidos totais tão elevados que é necessário um pré-tratamento de extrema eficiência. Um processo de filtração por membranas apresenta enorme propensão para a colmatção, sendo por isso geralmente utilizado apenas como tratamento de afinação. Tal contrapartida recai em custos de manutenção elevados que devem ser tidos em conta, podendo mesmo até se tornarem superiores á receita obtida.

Os autores estimam igualmente os preços de venda das fracções valorizáveis presentes nos concentrados. Os valores são de facto alicientes mas para que esta opção de tratamento não se torne em prejuízo para o produtor de azeite, a venda das referidas fracções tem de ser feita até superar os custos do investimento. A venda não tem só de ser certa como a receita deve superar também os custos de operação.

Em relação a esta alternativa como tratamento de águas ruças, não se pode considerar viável pelo que as contrapartidas inerentes incluem:

- Custos de investimento extremamente elevados e incomportados principalmente pelos lagares de pequena dimensão;
- O risco de um retorno financeiro com a venda do concentrado é bastante elevado;
- Custos de operação e manutenção elevados;
- Presença de um operador técnico.

## 13. CONCLUSÕES

---

Devido às características já referidas das águas ruças, o seu tratamento para posterior descarga nos meios hídricos naturais ou em colectores municipais implica uma gestão complexa por parte do produtor de azeite, com um elevado encargo financeiro. A possibilidade de ter um retorno financeiro com a venda dos subprodutos é considerada um risco, uma vez que se trata de uma indústria sazonal, dominada por pequenos produtores.

A melhor opção, no panorama actual, é aquela com a melhor relação custo/benefício e com o menor risco de prejuízo, pelo que o armazenamento das águas ruças em lagoas de evaporação ou a sua aplicação controlada nos solos agrícolas poderão constituir o destino final ambiental e economicamente mais recomendável. Estas são consideradas soluções exequíveis do ponto de vista económico, permitindo, simultaneamente, tirar partido do seu potencial de valorização.

Assim sendo, as duas opções referidas anteriormente são consideradas as melhores para o tratamento de águas ruças, uma vez que:

- Os custos de investimento são relativamente reduzidos. O custo de investimento numa lagoa de evaporação é inferior ao custo de construção civil e aquisição dos equipamentos electromecânicos de co-geração para uma digestão anaeróbia, bem como ao custo de aquisição de um sistema de filtração por membranas. Caso se opte pela rega dos solos agrícolas, o único custo de investimento é o tanque de armazenamento que é bastante inferior a todas as restantes alternativas;
- Os custos de operação e manutenção são praticamente nulos. Caso o produtor pretenda utilizar a água ruça na rega, é necessária apenas ser feita uma neutralização à mesma;
- A gestão do efluente é mínima. A água ruça ou é armazenada e evaporada ou apenas armazenado para rega entre campanhas. Em qualquer um dos casos, esta é disposta num espaço confinado sem ter que haver necessidade de qualquer tipo de controlo;
- Existência a possibilidade de valorização do subproduto. Após a evaporação é possível a venda do resíduo sólido seco como fertilizante e no caso de água ruça ser utilizada na rega, há uma poupança assegurada de água captada bem como de produtos fertilizantes;
- Não incorre da dependência de terceiros para que o investimento não se torne num prejuízo.





## BIBLIOGRAFIA

---

- Adhoum, N., e L. Monser. "Decolourization and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater by electrocoagulation." *Chemical Engineering and Processing*, 2004: 1281–1287.
- Aktas, E. S., S. Imre, e L. Ersoy. "Characterization and lime treatment of olive mill wastewater." *Water Research*, 2001: 2336-2340.
- Al-Malah, K., M. Azzam, e N. I. Abu-Lail. "Olive mills effluent (OME) wastewater post-treatment using activated clay." *Separation and Purification Technology*, 2000: 225–234.
- Almeida, A. *Olivicultura: Mecanização da colheita responde aos desafios dos novos olivais*. Abolsamia, 2008.
- Amaral, C., M. S. Lucas, J. Coutinho, A. L. Crespi, M. Anjos, e C. Pais. "Microbiological and physicochemical characterization of olive mil wastewaters from a continuous olive mill in Northeastern Portugal." *Biosource Technology*, 2008: 7215–7223.
- Amitharajah, A., e C. R. O'melia. *Coagulation processes: Destabilization, mixing and flocculation. Water quality and treatment*. Toronto: McGraw-Hill, 1990.
- Andreozzi, R., G. Longo, M. Majone, e G. Modesti. "Integrated treatment of olive oil mill effluents (OME): Study of ozonation coupled with anaerobic digestion." *Water Research*, 1998: 2357–2364.
- Andreozzi, R., V. Caprio, A. Insola, e R. Marotta. "Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery." *Catalysis Today*, 1999: 51-59.
- Angerosa, F. "Influence of volatile compounds on virgin olive oil quality evaluated by analytical approaches and sensor panels." *European Journal of Lipid Science and technology*, 2002: 587-601.
- Angerosa, F., B. Lanza, e V. Marsilio. "Biogenesis of "fusty" defect in virgin olive oils." *Grasas y Aceites*, 1996, 47 ed.
- Angerosa, F., B. Lanza, V. Marsilio, e S. Cumitini. "Olive oil off-odour compounds produced by *Aspergillus* and *Penicillium*." *Acta Horticulturae*, 1999, 474 ed.: 695-699.
- Angerosa, F., e L. Di Giacinto. "Caratteristiche di qualità dell'olio di oliva vergine in relazione ai metodi di frangitura." *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, 1995: 1-4.

- Angerosa, F., N. d'Alessandro, C. Basti, e R. Vito. "Biogenesis of volatile compounds in virgin olive oil: Their evolution in relation to malaxation time." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998: 2940-2944.
- Arvaniti, E. C., D. P. Zagklis, V. G. Papadakis, e C. A. Paraskeva. "High-added value materials production from OMW: A technical and economical optimization." *International Journal of Chemical Engineering*, 2012: 1-7.
- Assas, N., L. Ayed, L. Marouani, e M. Hamdi. "Decolorization of fresh and stored-black olive mill wastewaters by *Geotrichum candidum*." *Process Biochemistry*, 2002: 361-365.
- Asses, N., L. Ayed, H. Bouallagui, I. B. Rejeb, M. Gargouri, e M. Hamdi. "Use of *Geotrichum candidum* for olive mil wastewater treatment in submerged and static culture." *Bioresource Technology*, 2009.
- Azbar, N., A. Bayram, A. Filibeli, A. Muezzinoglu, F. Sengul, e A. Ozer. "A review of waste management options in olive oil production." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2004: 209-247.
- Ben-Sassi, A., A. Boularbah, A. Jalouad, G. Walker, e A. Boussaid. "A comparison of olive oil mill wastewaters (OMW) from three different processes in Morocco." *Process Biochemistry*, 2006: 74-78.
- Borja-Padilla, R., J. Alba-Mendoza, e C. Banks. "Anaerobic digestion of wash waters derived from the purification of virgin olive oil using a hybrid reactor combining a filter and a sludge blanket." *Process Biochemistry*, 1996: 219-224.
- Bueno, A. "Tests on removal of waste liquid from olive oil extraction (alpechín) by disposal in ponds or lagoons for percolation and evaporation." *Grasas y Aceites*, 1975: 387-396.
- Cabeças, A. *Disciplina de Sistemas de Tratamento de Resíduos, Engenharia do Ambiente*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2012.
- CAR/PP. *Prévention de la pollution dans la production d'huile d'olive*. Barcelona: Centre d'Activités Régionales pour la Production Prope, 2000.
- Carvalho, J. de. *Azeite Virgem e a sua Produção*. Lisboa: Disciplina de Tratamento de Efluentes Líquidos, Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico, 1987.
- CEE. *Regulamento (CEE) n.º 1683 da Comissão de 29 de Junho; Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L 176/27, 30 de Junho, 1992.

- Chau, T. T., W. J. Bruckard, P. T. Koh, e A. V. Nguyen. "A review of factors that affect contactangle and implications for flotation practice." *Advances in Colloid and Interface Science*, 2009: 106-115.
- Civantos, L. "Obtención del aceite de oliva virgín." *Editorial Agrícola Española S.A.*, 1999.
- Coskun, T., E. Debik, e N. M. Demir. "Treatment of olive mill wastewaters by nanofiltration and reverse osmosis membranes." *Dessalination*, 2010: 65-70.
- Coutinho, C. *A cochonilha-negra*. Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte. 2011.
- Dalis, D., K. Anagnostidis, A. López, I. Letsiou, e L. Hartmann. "Anaerobic digestion of total raw olive oil wastewater in a two stage pilot plant (Up flow and fixed bed bioreactors)." *Biosource Technology*, 1996, 57 ed.: 237-243.
- Danellakis, D., I. Ntaikou, M. Kornaros, e S. Dailianis. "Olive oil mill wastewater toxicity in the marine environment: Alterations of stress indices in tissues of mussel *Mytilus galloprovincialis*." *Aquatic Toxicology*, 2011: 358-366.
- Davies, L.C., A. M. Vilhena, J. M. Novias, e S. Dias. "Olive mill wastewater characteristics: modeling and statistical analysis." *Grasas y Aceites*, 2004: 233-241.
- De Marco, E., E. Savarese, A. Paduano, e R. Sacchi. "Characterization and fractionation of phenolic compounds extracted from olive oil mill wastewaters." *Food Chemistry*, 2007: 858-867.
- DGEG. *Direcção Geral de Energia e Geologia*. 2012. <http://www.dgeg.pt/> (acedido em Outubro de 2012).
- Di Giovacchino, L., N. Constantini, M. L. Ferrante, e A. Serraiocco. "Influence of malaxation time of olive paste on oil extraction yields and chemical and organoleptic characteristics of virgin olive oil obtained by a centrifugal decanter at water saving." *Grasas y Aceites*, 2002: 179-186.
- Di Giovacchino, L., S. Sestili, e D. Di Vincenzo. "Influence of olive processing on virgin olive oil quality." *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2002: 587-601.
- Dimicheli, M., e L. Bontoux. "Survey current activity on the valorisation of by-products from the olive oil industry." *European Commission Joint Research center*, 1996.
- El-Abbassi, A., M. Khayet, e A. Hafidi. "Micellar enhanced ultrafiltration process for the treatment of olive oil mill wastewater." *Water Research*, 2011: 4522-4530.
- Eurobserv'eur. "baromètre biogaz." *le journal des Énergies Renouvelables*, 2010.

- EVALSED. “Instrumentos de enquadramento das conclusões da avaliação: Análise Multicritério.” *Guia para a Avaliação do Desenvolvimento Socioeconómico*, 2008.
- Farabegoli, G., A. Chiavola, e E. Rolle. “SBR treatment of olive mill wastewaters: dilution or pre-treatment?” *Water Science Technology*, 2012: 1684-1691.
- Fideli, E. “Tecnologia de Produção e de Conservação de Azeite.” *Enciclopédia Mundial da Oliveira*, 1996, Conselho Oleícola Internacional ed.: 253-294.
- Galiatsatou, P., M. Metaxas, D. Arapoglou, e V. Kasselouri-Rigopoulou. “Treatment of olive mill waste water with activated carbons from agricultural by-products.” *Waste Management*, 2002: 803–812.
- García-García, I., P. Jiménez-Pena, J. Bonilla-Venceslada, A. Martín-Martín, M. Martín-Santos, e E. Ramos-Gomez. “Removal of phenol compounds from olive mill wastewater using *Phanerochaete chrysosporium*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus* and *Geotrichum candidum*.” *Process Biochemistry*, 2002: 751-758.
- Georgacakis, D., e D. Dalis. “Controlled anaerobic digestion of settled olive oil wastewater.” *Biosource Technology*, 1993: 221-226.
- Gizgis, N., M. Georgiou, e E. Diamadopoulos. “Combined anaerobic and aerobic biological co-treatment of olive mill wastewater and municipal wastewater.” *9th International Conference on Environmental Science and Technology*, 2005.
- Gray, N. F. *Biology of wastewater treatment*. London: Imperial College Press, 2004.
- Habeeb, S. A., L. Aziz, e Z. Ahmad. “A review on properties of the digestion process in the Up-Flow Anaerobic Sludge Bed (UASB) reactor.” *Canadian Journal on Environmental, Construction and Civil Engineering*, 2010.
- Hamdi, M. “Future prospects and constraints of olive mil wastewaters use and treatment: a review.” *Bioprocess Engineering*, 1993: 209-214.
- Hatzinikolaou, D. G. *Management and exploitation of oil-mill wastes in the area of the National Marine Park of Zakynthos*. Greece: National and Kapodistrian University of Athens, 2007.
- Igor, K. “Waste Treatment.” *Technology Dessimination Centres*, 2004.
- INE. *Instituto Nacional de Estatística*. 2012.  
[http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_main](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_main) (acedido em Julho de 2012).
- INE\*. *Classificação Portuguesa das Actividades Económicas Rev.3*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2007.

- INE\*\*. *O uso da água na agricultura*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2011.
- IOC. *International Olive Council*. 2012. <http://www.internationaloliveoil.org/> (acedido em Julho de 2012).
- IOC\*. *World Olive Encyclopedia*. International Olive Council, 1996.
- Kailis, S., e D. Harris. *Producing table olives*. National Library of Australia Cataloguing, 2007.
- Kapellakis, I. E., K. P. Tsagarakis, e A. N. Agelakis. "Performance of free water surface constructed wetlands in olive mill wastewater treatment." *Proceedings of the Ninth International IWA Specialist Conference on*, 2004: 113-122.
- Kapellakis, I. E., K. P. Tsagarakis, e J. C. Crowther. "Olive oil history, production and by-product management." *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 2008: 1-26.
- Karaouzas, I., N. T. Skoulikidis, U. Giannakou, e T. A. Albanis. "Spatial and temporal effects of olive mill wastewaters to stream macroinvertebrates and aquatic ecosystems status." *Water Research*, 2011: 6334-6346.
- Karim, K., R. Hoffmann, K. T. Klasson, e M. H. Al-Dahhan . "Anaerobic digestion of animal waste: effect of mixing." *Bioresource Technology*, 2005: 1607-1612.
- Karpouzas, D. G., et al. "Olive mill wastewater affects the structure of soil bacterial." *Applied Soil Ecology*, 2010: 101-111.
- Kasirga, E. "Treatment of olive oil industry wastewaters by anaerobic stabilization method and development of kinetic model." 1988.
- Kavvadias, V., M. K. Doula, K. Komnitsas, e N. Liakopoulou. "Disposal of olive oil mill wastes in evaporation ponds: Effects on soil properties." *Journal of Hazardous Materials*, 2012: 144-155.
- Kiritsakis, A. K. *Olive oil: From the tree to the table*. Vol. 2. Food & Nutrition Press, 1998.
- Lafi, W. K., B. Shannak, M. Al-Shannaga, Z. Al-Anber, e M. Al-Hasan. "Treatment of olive mill wastewater by combined advanced oxidation and biodegradation." *Separation and Purification Technology*, 2009: 141-146.
- Le Verge, S., e A. Bories. "Les bassins d'évaporation naturelle des margines." *Le Nouvel Olivier*, 2004: 5-10.
- Lema, J. M., e R. J. Méndez. "Diseño y operacion de digestores anaerobios basados en conceptos." *Actas del 4º Seminario D.A.A.R.*, 1988, Universidade de Valladolid ed.: 21-39.

- Leung, S. W., et al. "Effects of diet intakes on metal and electrolyte distributions in vital organs." *Procedia Environmental Sciences*, 2010: 91-97.
- Levi-Minzi, R., A. Saviozzi, R. Riffaldi, e L. Falzo. "Lo smaltimento in campo delle acque di vegetazione: Effetti sulle proprietà del terreno." *Olivae*, 1992: 20-25.
- Liberal, P., I. Gervásio, C. Venâncio, e R. Vilão. "SIDS Portugal: Indicadores-chave." 2009.
- Liu, Y., e J. Tay. "State of the art of biogranulation technology for wastewater treatment." *Biotechnology Advances*, 2004: 533-563.
- MADRP. *Olivicultura: Diagnóstico Sectorial*. 2007.
- Mahmoud, M., M. Janssen, N. Haboub, A. Nassour, e B. Lennartz. "The impact of olive mill wastewater application on flow and transport properties in soils." *Soil and Tillage Research*, 2010: 36-41.
- MAMAOT. *Plano Nacional para o Uso Eficiente da Água*. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2012.
- MAOTDR. *Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-Pecuários e Agro-Industriais*. 2007.
- Metcalf&Eddy. *Wastewater Engineering: Treatment and reuse*. McGraw-Hill, 2004.
- Michailides, M., P. Panagopoulos, S. Akratos, A. Tekerlekopoulou, e D. A. Vayenas. "A full-scale system for aerobic biological treatment of olive mill wastewater." *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2011: 888–892.
- Mitrakas, M., G. Papageorgiou, A. Docoslis, e G. Sakellaropoulos. "Evaluation of various pretreatment methods for olive oil mill wastewaters." *European Water Pollution Control*, 1996: 10-16.
- Moraetis, D., F. E. Stamati, N. Nikolaidis, e N. Kalogerakis. "Olive mill wastewater irrigation of maize: Impacts on soil and groundwater." *Agricultural Water Management*, 2011: 1125–1132.
- Mulinacci, N., A. Romani, C. Galardi, C. Pinelli, C. Giaccherini, e F. F. Vincieri. "Polyphenolic content in olive oil waste waters and related olive samples." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001.
- Niaounakis, M., e C. P. Halvadakis. *Olive Processing Waste Management - Literature review and patent survey*. Vol. 2. Waste Management Series 5, 2006.

- Nieto, L. M., G. Hodaifa, S. Rodríguez, J. A. Giménez, e J. Ochando. "Degradation of organic matter in olive-oil mill wastewater through homogeneous Fenton-like reaction." *Chemical Engineering Journal*, 2011: 503-510.
- Oliveira de, J. S., e M. C. Raimundo. "Tratamento de efluentes da indústria de extração de azeite." Universidade Nova de Lisboa, 1976.
- OMAIAA. "Evolução da balança de pagamentos no sector do azeite entre 2000 e 2009." *Observatório dos Mercados Agrícolas e das Importações Agro-Alimentares*, 2010.
- Ozelkan, E. C., e L. Duckstein. "Analyzing water resources alternatives and handling criteria by multicriterion decision techniques." *Journal of Environmental Management*, 1996, 48 ed.: 69-96.
- Palma, L., C. Merli, M. Paris, e E. Petrucci. "A steady state model for evaluation of disc rotational speed influence on RBC kinetics: model presentation." *Biosource Technology*, 2003.
- Paraskeva, C. A., V. G. Papadakis, E. Tsarouchi, D. G. Kanellopoulou, e P. G. Koutsoukos. "Membrane processing for olive mill wastewater fractionation." *Desalination*, 2007: 218–229.
- Paredes, C., J. Cegarra, A. Roig, M. A. Sánchez-Monedero, e M. P. Bernal. "Characterization of olive mill wastewater (alpechin) and its sludge for agricultural purposes." *Biosource Technology*, 1999: 111-115.
- Parenti, A., P. Spugnoli, P. Masella, e L. Calama. "The effect of malaxation temperature on the virgin olive oil and phenolic profile under laboratory-scale conditions." *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2008: 735–741.
- Parkin, G. F, e W. F. Owen. "Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges." *Journal of the Environmental Engineering Division*, 1986: 867-919.
- Peres, J., e L. Santos. "Alguns processos de valorização das águas ruças: uma breve síntese." *Revista de Ciências Agrárias*, 1998.
- Perle, M., S. Kimchie, e G. Shelef. "Some biochemical aspects of the anaerobic degradation of dairy wastewater." *Water Research*, 1995: 1549-1554.
- Petrakis, C. "Olive Oil Extraction." *Chemist Press*, 2006: 191-224.
- Piotrowska, A., G. Iamarino, M. Antonietta Rao, e L. Gianfreda. "Short-term effects of olive mill waste water (OMW) on chemical and biochemical properties of a semiarid Mediterranean soil." *Soil Biology & Biochemistry*, 2006: 600–610.

- Piotrowska, A., M. A. Rao, R. Scotti, e L. Gianfreda. "Changes in soil chemical and biochemical properties following amendment with crude and dephenolized olive mill waste water (OMW)." *Geodema*, 2011: 8-17.
- Pita, F. *Tratamento de águas residuais domésticas*. Coimbra: Disciplina de Armazenamento e Tratamento de Resíduos. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2002.
- Rivas, F. J., F. J. Beltrán, O. Gimeno, e J. Frades. "Treatment of olive oil mill wastewater by Fenton's reagent." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001.
- Rodrigues, M., e C. Correia. *Manual da Safra e Contra Safra do Olival*. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2009.
- Sá Marques, J., e J. Sousa. *Hidráulica Urbana: Sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2011.
- Saldanha, J. *Azeites e olivais no Alentejo : "montes" com lagar na província transtagana*. Lisboa: Crédito Agrícola, 2003.
- Sampaio, M. A., M. R. Gonçalves, e I. P. Marques. "Anaerobic digestion challenge of raw olive mill wastewater." *Bioresource Technology*, 2011: 10810-10818.
- Santos, G. *Tese de Mestrado: Análise do mercado de exportação de azeite português*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, 2011.
- Saramago, A. "A oliveira e o azeite - História e simbologia." *Revista de Ciências Agrárias*, 2001: 7-11.
- Schweigkofler, M., e R. Niessner. "Removal of siloxanes in biogases." *Journal Hazardous Materials*, 2001: 183-196.
- Sousa, J. "EER – Economia das Energias Renováveis." 2009. [http://pwp.net.ipl.pt/deea.isel/jsousa/Doc/EER/T5\\_Externalidades\\_ambientais\\_EER.pdf](http://pwp.net.ipl.pt/deea.isel/jsousa/Doc/EER/T5_Externalidades_ambientais_EER.pdf) (acedido em Outubro de 2012).
- Tezcan, Ü. Ün, S. Ugur, e A. S. Koparal. "Electrocoagulation of olive mill wastewaters." *Separation and Purification Technology* 52, 2006: 136–141.
- UE. "Project IMPROLIVE - FAIR CT96 1420 - Annex II." 2000.
- UNEP, e WHO. *Water Pollution Control - A guide to the use of water quality management principles*. Longon, 1997.



- Vlyssides, A. G., M. Laizidou, K. Gimouhopoulos, e A. Zorpas. "Olive oil processing wastes production and their characteristics in relation to olive oil extraction methods." *Frenesius Environmental Bulletin*, 1998: 308-313.
- Vlyssides, A. G., M. Loizides, e P. K. Karlis. "Integrated strategic approach for reusing olive oil extraction by-products." *Journal of Cleaner Production*, 2004: 603-611.
- Vossen, P. "Olive Oil: History, Production, and Characteristics of the World's Classic Oils." *HortScience*, 2007: 1993-1100.
- Wellinger, A., e A. Lindeberg. "Biogás upgrading and utilization." *Energy from biological conversion of organic wastes*, 1999: 1-19.
- Zbakh, H., e A. El Abbassi. "Potential use of olive mill wastewater in the preparation of functional beverages: A review." *Journal of Functional Foods*, 2012: 53-65.
- Zehnder, A. J., B. A. Huser, T. D. Brock, e K. Wuhrmann. "Charaterization of an acetatedecarboxylating, non-hydrogen-oxidizing methane bacterium." *Archives of Microbiology*, 1980: 1-11.
- Zinder, S. "Conversion of acetic acid to methane by termophiles." 1988, Pergamon Press ed.